

2013•2014
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef

Ontwerpen van een scheidingsinstallatie voor *enhanced landfill mining*

Promotor :
ing. Tim CLUKERS

Promotor :
Dhr. DANEEL GEYSEN

Laurens Scevenels , Enzo Roumans

Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2013•2014

Faculteit Industriële

ingenieurswetenschappen

master in de industriële wetenschappen: elektromechanica

Masterproef

Ontwerpen van een scheidingsinstallatie voor <i>enhanced
landfill mining</i>

Promotor :
ing. Tim CLUKERS

Promotor :
Dhr. DANEEL GEYSEN

Laurens Scevenels , Enzo Roumans

*Proefschrift ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële
wetenschappen: elektromechanica*

Voorwoord

Eerst en vooral willen we de faculteit industriële ingenieurswetenschappen van Universiteit Hasselt bedanken om ons de kans te geven deze masterproef uit te voeren. Doorheen de hele opleiding hebben wij de nodige *skills* aangeleerd gekregen om de masterproef tot een goed einde te brengen. Doordat we zelf opzoek zijn geweest naar een onderwerp hebben we al van in het begin een aantal van deze vaardigheden goed kunnen gebruiken. Bovendien was deze masterproef een mooi leerproces op zowel persoonlijk als professioneel vlak.

Uiteraard willen wij graag het bedrijf Group Machiels bedanken waar wij onze masterproef mochten uitvoeren. Voornamelijk het bedrijf Remo Milieubeheer, dat een onderdeel van Group Machiels is. Alle werknemers, waarmee we in contact zijn gekomen of waar we iets aan vroegen, waren erg bereid om ons te helpen.

In het bijzonder bedanken wij onze interne promotor, Drs. ing. Tim Clukers, en onze externe promotor, Dr. Ir. Daneel Geysen. Zij hebben ons zonder aarzelen bijgestaan, begeleid en raad gegeven doorheen de hele, soms stressvolle, periode. Ook waren zij zeer toegankelijk en beantwoordden ze al onze vragen. Verder bedanken we Dick Daalwijk, technisch/commercieel medewerker van het bedrijf Busschers. Hij is de contactpersoon voor Remo indien het over de constructie van een machine gaat. De heer Daalwijk heeft ons vooral geholpen met het inschatten van de haalbaarheid van sommige ontwerpen.

Verder willen we Maria Van Rymersdael en Veerle Scevenels bedanken voor het reviseren van onze teksten. Tenslotte bedanken we al onze vrienden en familie voor de steun en goede raad die zij ons gegeven hebben.

Inhoudsopgaven

Abstract	13
Abstract in English	15
1 Inleiding	17
1.1 Situering	17
1.2 Probleemstelling.....	18
1.3 Doelstelling.....	18
1.4 Methode.....	19
2 Literatuurstudie: bestaande technieken.....	21
2.1 Scheiding op basis van grootte	21
2.1.1 Trommelzeef	21
2.1.2 Dubbele trommelzeef.....	22
2.1.3 Ballistische scheider	23
2.1.4 Disc screen scheider.	25
2.1.5 Enkelvoudige trilzeef.....	26
2.1.6 Drievoudige trilzeef	27
2.1.7 Gyro scheider	28
2.1.8 Centrifugaal scheider.....	29
2.1.9 <i>Circular screen</i> scheider	30
2.1.10 Kegelvormige zeef.....	31
2.2 Scheiding op basis van ferromagnetische eigenschappen	32
2.2.1 Magneten	32
2.2.2 Vaste Blokmagneten.....	34
2.2.3 Bovenbandmagneten	35
2.2.4 Koprolmagneten / magneetrollen.....	37
2.2.5 Trommelmagneten.....	38
2.2.6 Cascade magneet systeem.....	40
2.2.7 Sensorscheiders.....	41

2.3	Scheiding op basis van densiteit	42
2.3.1	<i>Windshifters</i>	42
2.3.2	Ballistische scheider	45
2.3.3	Sensor scheider	47
2.3.4	<i>Handpicking</i>	48
2.3.5	<i>Sink / Float</i> scheider	49
2.3.6	Magnetische vloeistof scheider	50
2.4	Drogen	52
2.4.1	Droogtrommel	52
2.4.2	Droogtunnel	54
2.4.3	Drogen in openlucht	55
2.4.4	Absorberende stoffen.....	56
2.4.5	Lage temperatuur drogen	57
3	Testopstelling.....	59
3.1	Testinstallatie	60
3.2	Testresultaten	63
4	Design van de installatie	67
4.1	Uitbreiding probleemstelling, doelstelling en situering.....	69
4.2	Eisen en beperkingen	72
4.3	Algemeen overzicht.....	75
4.4	Funcatieblokschema's.....	76
4.4.1	Funcatieblokschema 2.....	77
4.4.2	Funcatieblokschema 3.....	78
4.4.3	Funcatieblokschema 4.....	78
4.4.4	Funcatieblokschema 5.....	79
4.4.5	Funcatieblokschema 6.....	79
4.4.6	Funcatieblokschema 7.....	80
4.4.7	Funcatieblokschema 8.....	81
4.5	Morfologisch overzicht.....	82

4.6	Brainstormen	84
4.7	Basisconcepten	87
4.7.1	Trommelzeef en magneet afvoer aan de voorzijde	88
4.7.2	Trommelzeef + interne bovenbandmagneet.....	89
4.7.3	Triltafel met bovenbandmagneet.....	90
4.7.4	Zeeftrommel met interne trommelmagneet	91
5	Eigenlijke concepten	93
5.1	Droogtrommel met geïntegreerde metaalverwijdering	93
5.1.1	Basis droogtrommel	94
5.1.2	Verdere opbouw droogtrommel	98
5.1.3	Constructie rondom droogtrommel	101
5.1.4	Magneettrommel	104
5.1.5	Volledig ontwerp.....	107
5.1.6	Berekeningen.....	109
5.2	Trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering.....	118
5.2.1	Trommelzeef	118
5.2.2	Magneetsysteem	120
5.2.3	Frame en afvoer voor afgezeefde fractie	122
5.2.4	Borstelsysteem	124
5.2.5	Afvoer van ferrometalen	126
5.2.6	Volledig ontwerp.....	127
5.2.7	Berekeningen.....	128
5.3	Ballistische scheider.....	132
6	Conclusie.....	135
6.1	Evaluatie	135
6.2	Vooruitblik	139
	Literatuurlijst.....	141
	Bijlagen.....	147

Lijst van tabellen

Tabel 1: Eisenpakket.....	74
Tabel 2: Morfologisch overzicht FB 8	82
Tabel 3: Morfologisch overzicht FB 1	83

Lijst van figuren

Figuur 1: Logo Group Machiels	17
Figuur 2: Trommelzeef	21
Figuur 3: dubbele trommelzeef	22
Figuur 4: Werking ballistische scheider	23
Figuur 5: Ballistische scheider	24
Figuur 6: <i>Disc screen</i> scheider.....	25
Figuur 7: Enkelvoudige trilzeef.....	26
Figuur 8: Drievoudige trilzeef	27
Figuur 9: Gyro scheider doorsnede zijaanzicht. Drie zeven, vier fracties.	28
Figuur 10: Centrifugaal scheider	29
Figuur 11: Beweging materiaal bij een <i>circular screen</i> scheider.....	30
Figuur 12: Doorsnede <i>circular screen</i> scheider	30
Figuur 13: Kegelvormige zeef.....	31
Figuur 14: Zeilsteen.....	33
Figuur 15: Blokmagneet.....	34
Figuur 16: Bovendbandmagneet	35
Figuur 17 : Dwarsopstelling bovenbandmagneet.....	36
Figuur 18: Lijnopstelling bovenbandmagneet	36
Figuur 19: Koprolmagneet	37
Figuur 20: Dubbele bovenbandmagneet.....	38
Figuur 21: Verticale trommelmagneet.....	39
Figuur 22: Deflectie trommelmagneet.....	39
Figuur 23: Trommelmagneet	39
Figuur 24: Cascade magneet systeem.....	40
Figuur 25: Sensorscheiders.....	41
Figuur 26: <i>Windshifters</i>	43
Figuur 27: Concept blazende <i>windshifters</i>	43
Figuur 28: Concept zuigende <i>windshifters</i>	44
Figuur 29: Peddels ballistische scheider	45
Figuur 30: Concept ballistische scheider.....	46
Figuur 31: Ballistische scheider	46
Figuur 32: Sensor scheider	47
Figuur 33: <i>Handpicking</i>	48
Figuur 34: <i>Sink float tank</i>	49
Figuur 35: Invloed magnetisch veld op paramagnetische en ferromagnetische stoffen .	50
Figuur 36: Relatie tussen de densiteit van elk materiaal en diepte waar deze materie blijft hangen.....	51

Figuur 37: Test opstelling TU delft	51
Figuur 38: Doorsnede van een droogtrommel	52
Figuur 39: Grafische weergave lucht- en materiaaltemperatuur	53
Figuur 40: Droogtrommel met spiraalvormige schoepen	54
Figuur 41: Een parallelle droogtunnel.....	55
Figuur 42: Silica gel korrels.....	56
Figuur 43: Testopstelling: opgravingen en trommelzeef.....	59
Figuur 44: Opgravingen tijdens test	59
Figuur 45: Verwisselen trommel met kleinere zeefopeningen	60
Figuur 46: Beweging en werking van de schotten in de trommel.	61
Figuur 47: Testopstelling met verdeling grote en kleine fractie	62
Figuur 48: Plus 80mm fractie	64
Figuur 49: Min 10mm fractie	64
Figuur 50: De 80mm tot 10mm fractie	64
Figuur 52: Na exacte sortering: glas en plastic.....	65
Figuur 51: Na exacte sortering: zand, papier, karton, folies en stukjes hout.....	65
Figuur 53: Na exacte sortering: stenen en metaal	65
Figuur 54: <i>Tree swing design</i>	67
Figuur 55: Verhouding functionaliteit, kost, kwaliteit en tijd.	68
Figuur 56: Volgorde sortering	69
Figuur 57: Luchtfoto Remo	71
Figuur 58: Sanky diagram verloop sortering	75
Figuur 59: FB 1	76
Figuur 60: De verschillende functies	77
Figuur 61: FB 2	77
Figuur 62: FB 3	78
Figuur 63: FB 4	78
Figuur 64: FB 5	79
Figuur 65: FB 6	79
Figuur 66: FB 7	80
Figuur 67: FB 8	81
Figuur 68: Trommel met kleppen	85
Figuur 69: Brainstorm bediending kleppen.....	86
Figuur 70: Spaninrichting.....	86
Figuur 71: Schetsen tijdens brainstormsessie	87
Figuur 72: Trommelzeef en magneet afvoer aan de voorzijde	88
Figuur 73: Trommelzeef en magneet afvoer aan de voorzijde doorsnede.....	88
Figuur 74: Trommelzeef + interne bovenbandmagneet.....	89
Figuur 75: Triltafel met bovenbandmagneet	90

Figuur 76: Trommelmagneet	91
Figuur 77: Zeeftrommel met interne trommelmagneet	91
Figuur 78: Dubbel droogtrommel	94
Figuur 79: Gedeeltelijke doorsnede, illustratie spiralen	95
Figuur 80: Visualisatie schoepen.....	95
Figuur 81: Schoepen voor de droogtrommel.....	95
Figuur 82: Dubbele droogtrommel gedeeltelijke doorsnede	96
Figuur 83: gedeeltelijke trommel afgebeeld in segmenten.....	97
Figuur 84: Overgang van 3 meter naar 4 meter	98
Figuur 85: In- en uitgang afval	98
Figuur 86: Werking/Doorloop afval	98
Figuur 87: Trommel met externe aanhang.....	99
Figuur 88: Droogtrommel met isolatie	100
Figuur 89: Ondersteunend frame.....	101
Figuur 90: Basis voor steunwielen	101
Figuur 91: Trechter voor afval en lucht.....	102
Figuur 92: Invoer lucht er afval.....	102
Figuur 93: Eindplaat vooraanzicht.....	102
Figuur 94: Eindplaat achteraanzicht.....	103
Figuur 95: Volledige ondersteunende constructie.....	103
Figuur 96: Verzamel trommel voor metaal.....	104
Figuur 97: Statisch gedeelte magneettrommel	104
Figuur 98: Visualisatie magneten.....	104
Figuur 99: Klep voor magneettrommel.....	105
Figuur 100: Magneettrommel met kleppen	105
Figuur 101: Magneettrommel met afdek.....	105
Figuur 102: Kleppen mechanisme.....	106
Figuur 103: Bovenaanzicht droogtrommel	107
Figuur 106: 3D schuin zijaanzicht achterkant droogtrommel	107
Figuur 105: Linkerzijaanzicht droogtrommel	107
Figuur 104: 3D schuin zijaanzicht voorkant droogtrommel	107
Figuur 108: Doorsnede linkerzijaanzicht	108
Figuur 107: Midden doorsnede droogtrommel en magneettrommel.....	108
Figuur 109: Visualisatie plaatsing magneettrommel in droogtrommel	108
Figuur 110: Cirkelsegment	109
Figuur 111: Berekening cirkelsegment	110
Figuur 112: Water fase diagram	115
Figuur 113: Trommelzeef stalen skelet.....	118
Figuur 114: Plaatsectie voor zeven.....	119

Figuur 115: Trommelzeef	119
Figuur 116: Stalen skelet magneetsysteem	120
Figuur 117: Magneet systeem	120
Figuur 118: Trommezeef met magneetsysteem	121
Figuur 119: Afvoer plaat.....	122
Figuur 120: Frame met afvoerbak	123
Figuur 121: Borstel systeem	124
Figuur 122: Pivoterende baar.....	125
Figuur 123: Frame met trommelzeef, magneetsysteem en borstelsysteem	125
Figuur 124: Ferrometalen afvoer	126
Figuur 125: Ferrometalen afvoer met magneet systeem.....	126
Figuur 126: Aanzichten trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering	127
Figuur 127: I-profiel frame	130
Figuur 128: Plaatsectie voor zeven.....	132
Figuur 129: Peddel zonder plaatsectie	132
Figuur 130: Variëteit aan plaatsecties	133
Figuur 131: Ballistischscheider peddel	133

Abstract

Remo is een afvalopslag- en afvalverwerkingsbedrijf en een onderneming van Group Machiels. Momenteel zit Remo in de beginfase om oude afvalopslagplaatsen opnieuw op te graven en het nog waardevolle afval te valoriseren. Dit noemt men *enhanced landfill mining*.

Voor het voorsorteren van het afval wordt er normaal gezien gebruik gemaakt van een aaneenschakeling van verschillende fysische processen. Group Machiels heeft echter een voorkeur voor een gecombineerd systeem, waarin meerdere processen gelijktijdig gebeuren. Dit is een concept dat momenteel commercieel nog niet beschikbaar is.

Het doel van deze masterproef is om een machine te ontwerpen die twee of meerdere van de vier opgelegde conventionele processen combineert in één machine. Deze processen zijn: zeven, metaalscheiding, densiteitscheiding en drogen. Aan de hand van verschillende functieblokken en morfologische overzichten, gebaseerd op het idee “methodisch ontwerpen” en de resultaten van de testopgravingen, wordt de combinatie bepaald.

Na overleg met Group Machiels is er besloten om in de masterproef verder te gaan met twee nieuwe conceptuele ontwerpen en één aanpassing van een bestaand systeem. De ontwerpen van de droog- en zeeftrammel, beide met een metaalverwijderingssysteem, en de aanpassing van een ballistische scheider werden volledig in 3D uitgetekend. Enkele onderdelen werden ook in 2D getekend. Om de ontwerpen te staven zijn er enkele berekeningen gemaakt. Theoretisch zijn de ontwerpen volledig functioneel, maar ze zijn nog niet in de praktijk getest.

Abstract in English

Remo is a waste storage and waste management facility. It is an enterprise of Group Machiels. Currently Remo is in the first few stages of re-excavating old dumpsites to valorise any materials that still have value. This is called enhanced landfill mining. Usually a chain of different physical processes is linked together to pre-sort the waste. Within Group Machiels there is a preference for a combined system or machine that uses multiple of these physical processes simultaneously. This sort of combined system is currently commercially unavailable.

The goal of this master's thesis is to design a machine that utilizes two or more of the four imposed conventional processes and combines them into one machine. These processes are: sifting, metal separation, drying and separation based on the density of the material. Using different function blocks and morphological overviews, based on the methodical design idea and the gathered results from test digs, a suitable combination is stated.

After consulting Group Machiels it was decided to continue with two conceptual designs and one modification to an already existing system. Both drying drum and screen drum, with a metal separation system, as well as the modification to a ballistic separator were designed in 3D. Some parts are also illustrated in 2D drawings. To support the designs some calculations were made. Theoretically the designs are fully functional however in this master's thesis it was not possible to test this into practice.

1 Inleiding



Figuur 1: Logo Group Machiels

1.1 Situering

Als masterstudenten van de opleiding industrieel ingenieur elektromechanica aan de faculteit FIIW kregen wij de kans om vanuit Group Machiels (Figuur 1) een masterproef uit te werken. Hier zullen we het onderwerp Optimalisatie van een scheidingsinstallatie voor *enhanced landfill mining* behandelen. [1][2]

Group Machiels bestaat uit verschillende onderdelen en vestigingen. De vestiging waar deze masterproef voornamelijk aan gelinkt is, is Remo. Deze onderneming houdt zich veelal bezig met het opslaan van industrieel afval van bedrijven gesitueerd in en rond Houthalen-Helchteren.

Omdat het onmogelijk is continu afval op te slaan, is Remo zich nu aan het focussen op een nieuw project om de oudere opslagplaatsen te verkleinen en het nieuw aankomend afval voor opslag te verminderen. Het project geeft invulling aan de doelstellingen van de Vlaamse Overheid rond het onderwerp valorisatie van oude afvalopslagplaatsen. Door de omvang en betekenis is dit het speerpuntproject van het *closing the circle* idee van Group Machiels. Het idee hierachter is dat men gaat trachten om waardevolle materialen, die nu geen toekomst meer hebben, opnieuw als grondstof te gebruiken om zo de levenscyclus van het materiaal compleet te maken. Ook gaat men proberen de in het verleden opgeslagen afvalstoffen om te zetten in duurzame energie. De verzamelnaam voor deze processen noemt men *enhanced landfill mining*.

Het economische idee achter *enhanced landfill mining* is om alle mogelijke waardevolle onderdelen van een afvalopslagplaats te exploiteren en/of te recupereren. Eerst werd er enkel geïnvesteerd in het opvangen en opslaan van natuurlijk geproduceerd methaan dat ontstond op stortplaatsen. Eens de natuurlijke productie van methaan afneemt, blijft er dus een schat aan potentiele herbruikbare grondstoffen achter. De secundaire stap in *enhanced landfill mining* is, zoals eerder vermeld, om deze potentieel waardevolle materialen te ontginnen. Er zijn twee doelstellingen bij deze stap. Enerzijds is het de bedoeling om waterstof te produceren met behulp van een plasma-installatie. Hiervoor zijn maar een beperkt aantal materialen geschikt. Dit zijn vooral organische materialen en materialen met veel waterstofatomen in hun moleculaire opbouw. Anderzijds zouden de resterende materialen zo goed mogelijk gerecycleerd moeten worden. Voor beide stappen is een scheidingsinstallatie nodig, die een vorm van sortering doet naargelang de gewenste materialen die nodig zijn bij de volgende processen. [3][4]

1.2 Probleemstelling

Momenteel werkt Group Machiels, samen met een aantal partners, aan een beperkte testinstallatie die echter niet voldoet aan de toekomstige noden om op grote schaal de nodige scheiding te realiseren. Als tijdelijke *proof of concept* wordt er gebruik gemaakt van een testzeef, *handpicking* en *windshifters*. Deze manier van scheiden is enkel om te achterhalen welke materialenverdeling er zich in de afvalopslagplaatsen bevindt. Aangezien *handpicking* een zeer arbeidsintensief proces is, is dit geen realistische manier om voorsortering te realiseren op grote schaal.

Om een goede scheiding van de afvalstroom te realiseren, zonder intensief gebruik te maken van *handpicking*, worden er conventioneel zeer veel verschillende scheidingsprocessen zoals zeven, droogtrommels, magneten, enz. achter elkaar geplaatst. Het probleem hierbij is, dat het een grote kost met zich meebrengt om al deze verschillende processen aan te schaffen. De aaneenschakeling van deze afzonderlijke processen neemt bovendien een grote oppervlakte in beslag.

1.3 Doelstelling

Het is niet de bedoeling om een conventionele scheidingsinstallatie te optimaliseren. Wat we met deze masterproef wel willen bereiken, is een op maat gemaakte gecombineerde oplossing van het scheidingsproces die voldoet aan de noden van Group Machiels. Vanuit Group Machiels zijn een paar doelstellingen opgesteld, die zeker gehaald moeten worden.

Vooreerst moet het ontwerp een combinatie zijn van twee of meerdere conventionele scheidingsmethoden. Om een duidelijk afgebakend werkingsgebied te creëren, zijn er vanuit Group Machiels vier scheidingsmethoden opgelegd: drogen, zeven, scheiden op dichtheid en verwijderen van ferrometalen. Deze methoden omvatten de meest conventionele scheidingssystemen en zijn wereldwijd gebruikt. Het was net daarom een belangrijke reden om eens te brainstormen over mogelijke combinaties in plaats van een aaneenschakeling van deze methoden. Als voorbeeld kunnen we stellen dat het drogen tijdens het zeven zo een combinatie vertegenwoordigt. Uiteraard zijn er meerdere processen die combineerbaar zijn.

Als tweede speerpunt wenst Group Machiels graag dat de machine deels mobiel is, wat wil zeggen dat de machine, indien nodig, verplaatsbaar moet zijn, maar dat praktisch al het scheidingswerk gebeurt als de machine stilstaat. Dit is nodig omdat de machine

dicht bij de afgravingen zal staan. Uiteraard schuiven deze afgravingen geregeld op. Kleine afstanden kunnen met transportbanden worden overbrugd, maar een langere afstand vereist dat de volledige scheidingsinstallatie mee verhuist.

Gezien de huidige economische laagconjunctuur, is het de bedoeling dat we de kosten zo laag mogelijk houden. Om de machine financieel interessant te maken - niet alleen voor Group Machiels - is het belangrijk dat het ontwerp niet duurder is dan de aankoop van de verschillende processen apart.

Uiteraard zijn er een paar cruciale voorwaarden waaraan de machine moet beantwoorden. Dit zijn resultaten die Group Machiels zeker gerealiseerd wil zien. Ze zijn nodig om de hele masterproef in realiteit rendabel te maken.

Het eerste punt waar zeker aan voldaan moet zijn, is dat het opgegraven materiaal droog genoeg is. In een later stadium, dat niet door deze masterproef behandeld wordt, gaat men proberen waterstof te extraheren uit sommige materialen. Hiervoor mogen deze materialen niet meer dan 20% massa gewicht aan water bevatten.

Als tweede vereiste moet er natuurlijk voldoende afval verwerkt kunnen worden. Het debiet moet dus hoog genoeg zijn om voldoende rendabel te zijn. Deze waarde heeft Group Machiels vooral op eigen ervaring gebaseerd. De ontworpen machine moet minstens 50m³ afval kunnen verwerken.

1.4 Methode

Voor het zoeken naar het best mogelijke ontwerp, maakten we gebruik van een aantal ontwerpmethoden, die ons tijdens deze opleiding zijn aangeleerd.

Eerst zal er een literatuurstudie worden uitgevoerd om te achterhalen welke verschillende soorten van scheidingsprocessen reeds bestaan. Hieruit hebben we een selectie maken en in een morfologisch overzicht plaatsen. Uiteraard zullen ook eigen ideeën en andere mogelijke technieken in dit morfologisch overzicht verwerken. Hieruit zullen één of meerdere combinaties gemaakt worden die optimaal lijken en die verder uitwerkt worden.

Nadat alle gegevens verkregen en verzameld werden om de machine te kunnen dimensioneren, zal ook begonnen worden met het in detail uitwerken van de gekozen combinatie. Deze uitwerking zal gebeuren met het tekenprogramma PTC Creo. Uiteraard was het ook nodig zijn de verschillende onderdelen van de machine te dimensioneren en te berekenen. Hiervoor werden handmatige berekeningen gemaakt worden.

2 Literatuurstudie: bestaande technieken

Als deelopdracht voor deze masterproef werd er gevraagd een literatuurstudie uit te voeren over de reeds bestaande sorteerprocessen. Na het eerste onderzoekwerk hebben we besloten ons tijdens de literatuurstudie vooral te focussen op het zeven en het magnetische scheiden. Deze keuze hebben we gemaakt omdat wij vonden dat er bij deze processen veel ruimte voor innovatie is. Het zijn systemen die het toelaten om er iets aan toe te voegen. We bedoelen hiermee dat de mogelijkheden tot combinaties van verschillende processen duidelijk aanwezig zijn.

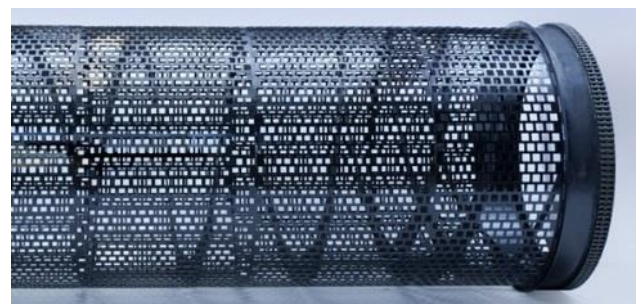
Eerst bespreken we de verschillende zeefprocessen, daarna komen de magnetische scheidingsinstallaties aan bod. Bij beide processen hebben we het ook kort over de positieve en negatieve punten van elk systeem. Deze positieve en negatieve aspecten hebben we gedeeltelijk gebaseerd op de eisen die voor deze masterproef gesteld werden door Groep Machiels.

2.1 Scheiding op basis van grootte

Tijdens het scheiden op basis van grootte, ook wel zeven genaamd, is het de bedoeling een materiaalstroom te scheiden in verschillende fracties. De gewenste fracties worden op voorhand bepaald zodat er in de machines de juiste onderdelen gemonteerd kunnen worden. Logischerwijze zullen er aanpassingen moeten gebeuren als men van bijvoorbeeld een 150mm-fractie naar een 10mm-fractie moet gaan. Daarom worden de fracties op voorhand bepaald en zijn de meeste zeefinstallaties modulair om verschillende fracties aan te kunnen.

2.1.1 Trommelzeef

Een trommelzeef (Figuur 2) is één van de eenvoudigste systemen om een scheiding te doen op basis van grootte. De trommel heeft rondom het hele manteloppervlak gaten die overeenkomen met de fractie die men wil afzeven. Dit manteloppervlak kan bestaan uit verwisselbare panelen. Zo kan men met dezelfde trommel verschillende fracties afzeven. [5]



Figuur 2: Trommelzeef

Dankzij de roterende beweging en ingebouwde spiraal is er sprake van een gecontroleerde afvoer. De materiaalstroom wordt door de spiraal gecontroleerd. Afhankelijk van de spoed en opstelhoek van de spiraal zal het materiaal sneller of trager worden afgevoerd. Dit geeft de mogelijkheid tot een zeer groot contactoppervlak om het materiaal voldoende te scheiden in fracties.

Een nadeel van een trommelzeef is dat deze meestal te groot zijn om een voldoende debiet te bereiken. Hiermee bedoelen we zowel de lengte van de trommelzeef als de diameter. Omdat we hier over een enkelvoudige trommelzeef spreken is het ook maar mogelijk om één enkele fractie per doorstroming te scheiden. Het neemt dus meer tijd in beslag om met 1 trommelzeef meerdere fracties te scheiden.

2.1.2 Dubbele trommelzeef

Een dubbele trommelzeef (Figuur 3) werkt via hetzelfde principe als een enkelvoudige trommelzeef. Het verschil is dat een enkelvoudige trommelzeef maar twee fracties creëert (Alles dat groter is dan de gaten in de zeef en alles dat kleiner is dan de gaten dat door de zeef valt). Een dubbele trommelzeef heeft nog een extra trommelzeef met kleinere openingen rond de trommelzeef met grotere openingen. Er worden dus drie fracties gelijktijdig gescheiden. Meestal is de buitenste trommelzeef in segmenten verwijderbaar om makkelijker onderhoud uit te voeren. [6]



Figuur 3: dubbele trommelzeef

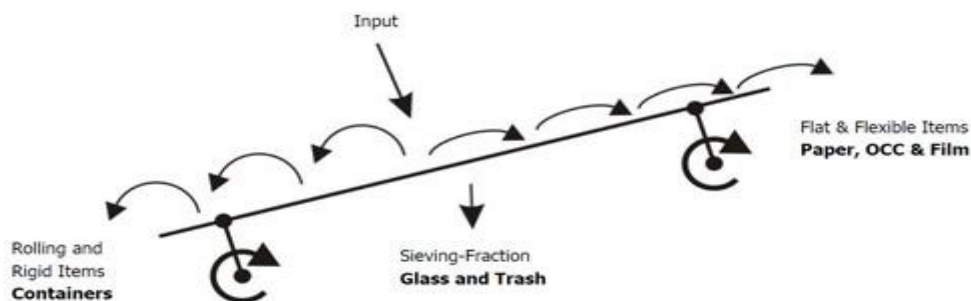
Meestal draaien de binnenste en buitenste trommel met hetzelfde toerental. Dit is makkelijk te verkrijgen door de twee trommels intern met elkaar intern te verbinden. Hierbij moet men tijdens het ontwerp toch op een paar dingen letten. Zo moet de afstand tussen de binnenste en buitenste trommel voldoende groot zijn. Indien de afstand te klein zou zijn zal de buitenste zeef niet optimaal werken. Het materiaal kan namelijk niet voldoende in beweging gebracht worden. Anderzijds bestaat de kans dat een dun maar langwerpig voorwerp zich vastzet tussen de twee trommels. Dit kan tot verstoppingen leiden en, nog erger, tot beschadiging van zowel de binnenste als de buitenste trommelzeef.

Een ander nadelig effect van een dubbele trommelzeef is dat het resulteert in een overgedimensioneerde buitenste trommel. Immers wordt de binnenste trommel gedimensioneerd op het debiet dat er door zal stromen. De buitenste trommel zal als gevolg veel groter zijn, maar krijgt enkel een deel van de fractie te verwerken die door de binnenste trommel valt.

2.1.3 Ballistische scheider

De ballistische scheider (Figuur 5) zal het toegevoegde materiaal scheiden op basis van densiteit. Hiermee wordt bedoeld dat de lichte en zware materialen van elkaar gescheiden worden. Een ballistische scheider bestaat uit een serie bewegende peddels die parallel zijn opgesteld. De peddels staan onder een kleine hoek en zijn verbonden aan een soort krukas. Deze doet de peddels op en neer bewegen in een ellipsvormig patroon. Het hoogste punt van de machine staat in de richting van de draaibeweging van de as. Hiermee wordt bedoeld dat indien de krukas rechtsom draait, het hoogste punt van de machine ook rechts gelegen is. De verschillende peddels lopen ook niet gelijk. Hun ogenblikkelijke positie verschilt een aantal graden. Dit bevordert de verdeling over de gehele breedte van de machine en zorgt voor een betere scheiding.

Op Figuur 4 hieronder kunnen we zien dat er een inbrengstroom is in het midden van de machine. Door het hevig op en neer bewegen van de verschillende peddels wordt het lichte materiaal mee naar boven genomen. Dit zijn meestal kunststof folies, papier en karton. De zwaardere en stevigere materialen zullen door hun hogere densiteit vanzelf naar beneden gaan. Er bestaat een mogelijkheid om de peddels ook te voorzien van een rooster. Door dit rooster zal dan al het materiaal vallen dat een kleinere diameter heeft dan het rooster. Meestal zijn dit de zwaardere materialen omdat deze minder effect ondervinden van de bewegende peddels.[7]

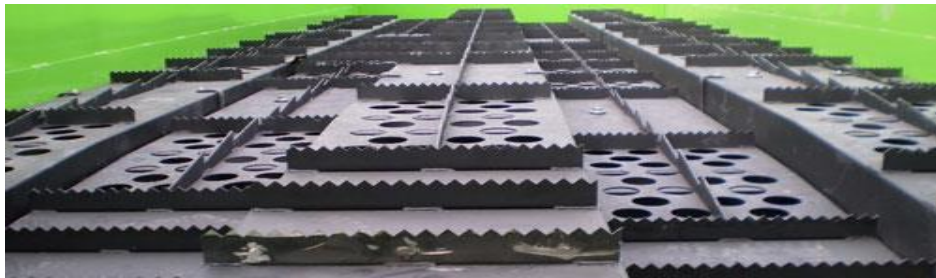


Figuur 4: Werking ballistische scheider

We kunnen dus zeggen dat een ballistische scheider 3 fracties creëert. Eén op basis van grootte en 2 op basis van geometrie.

Een groot pluspunt is dat samengeklit materiaal door de hevige bewegingen van elkaar gescheiden wordt. Het is dus zeer effectief om vuil en zand van bruikbare onderdelen te verwijderen. Tevens kunnen we spreken van een hoge graad van selectiviteit.

Indien er gebruik gemaakt wordt van een ballistische scheider om het materiaal te scheiden op basis van grootte, dan moet de machine over gedimensioneerd worden. Dit is nodig om het materiaal voldoende tijd te geven om door de uitsparingen te kunnen vallen. Dit gebeurt uiteraard niet zo makkelijk als bij een conventionele zeef omdat het materiaal constant omhoog gegooid wordt. Er is dus veel beweging van het materiaal nodig. Indien men te maken heeft met nat materiaal zal dit zeer nadelig zijn voor zowel de scheiding op densiteit, als de scheiding op basis van grootte. [8]



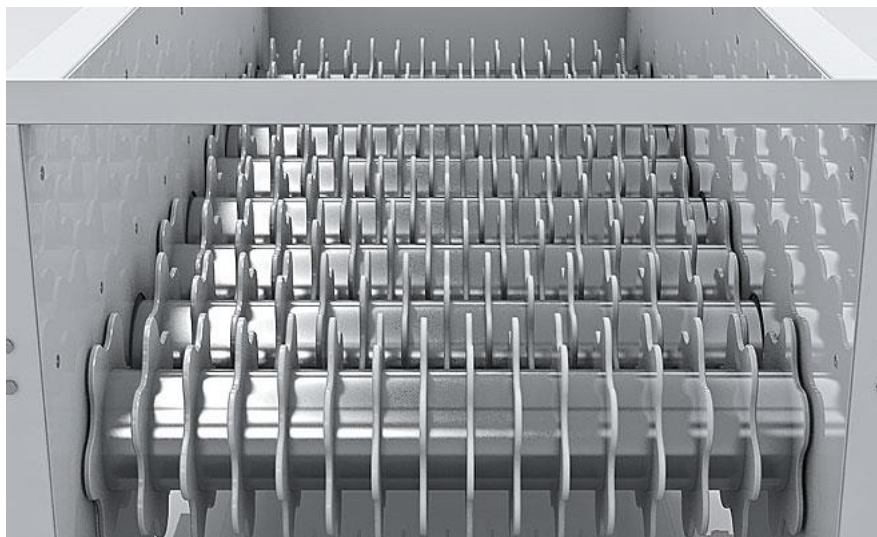
Figuur 5: Ballistische scheider

2.1.4 Disc screen scheider.

De *disc screen* scheider (Figuur 6) is opgebouwd uit verschillende trommels waaraan schijven zijn bevestigd. Deze schijven hebben een bepaalde vorm die ontworpen is om het materiaal zonder beschadigingen voort te duwen. Tussen de verschillende trommels is een ruimte opengelaten waartussen kleinere materialen kunnen vallen. De *disc screen* scheider is dus een zeer goede opstelling voor de separatie van grote partikels uit bulk materiaal. De grote partikels worden meegenomen over de trommels, geholpen door de schijven, en de kleinere onderdelen vallen in de opening tussen de trommels. Beide gescheiden materiaalstromen, groot en klein, worden opgevangen en naar een verder stadium gebracht.

Door de niet-cirkelvormige schijven breekt samengeklit materiaal van elkaar af. Eveneens wordt het niet gewenst vuil en zand van het materiaal verwijderd. Nog een voordeel van de *disc screen* scheider is dat deze bijna geen negatieve invloed ondervindt van het verwerken van nat materiaal. Uiteraard zal het verwijderen van vuil en zand niet meer zo vlot verlopen maar de primaire eigenschap, het scheiden, wordt niet beïnvloed.

Men moet wel uitkijken voor klem zittend materiaal. Dat kan een lichte vorm van *shredding* ondergaan. Normaal gezien vormt dit geen probleem omdat de *disc screen* scheider ontworpen is voor een snellere afvoer van materiaal. [9]



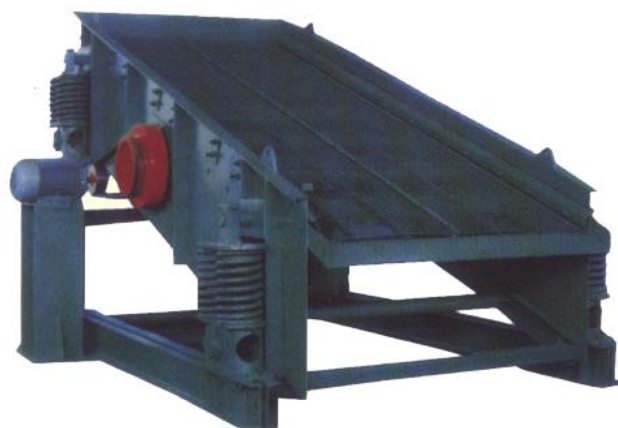
Figuur 6: *Disc screen* scheider

2.1.5 Enkelvoudige trilzeef

Voor het scheiden van 2 fracties is het gebruik van een trilzeef (Figuur 7) één van de meest toegepaste en bekende principes. Het is ook één van de eenvoudigste installaties. De plaat waarin de zeef verwerkt is wordt onder een bepaalde hoek geplaatst. Aan de zeef wordt via een kleine constructie een motor geplaatst die voor de trillingen zorgt. Dit geheel wordt gedragen door een frame. Om de trillingen niet door te geven aan de ondergrond wordt de bovenste constructie geïsoleerd door middel van veren.

De hevige trillingen zorgen voor een goede verdeling van het materiaal op de zeef. Dit zorgt op zijn beurt weer voor een goede scheiding van het materiaal. Een trilzeef werkt vooral goed met droog materiaal maar vochtig materiaal is meestal ook geen probleem. Nog een voordeel van de trillingen is dat het samengeklit materiaal van elkaar loskomt. Dit betekent dus dat zand en ongewenst vuil dat aan het materiaal hangt er wordt afgeslagen. De trillingen zorgen er ook voor dat grote kunststof folies zich niet oprollen en verstoppingen veroorzaken.

Een nadeel van de constante hevige trillingen is dat de levensduur van de machine hieronder lijdt. Bepaalde onderdelen, zoals de ophangpunten voor de geperforeerde platen, zullen veel meer slijtage vertonen dan als ze gebruikt werden in een machine met minder hevige trillingen. Als gevolg daarvan zal er regelmatig onderhoud moeten gebeuren om de machine werkende te houden. Om een goede scheiding en voldoende debiet te verkrijgen moet de zeef ook groot zijn. Het uiteindelijke werkoppervlak moet groot genoeg zijn zodat het te verwerken materiaal over het gehele oppervlak van de zeef bedekt ligt en de laagdikte klein genoeg is. [10]



Figuur 7: Enkelvoudige trilzeef

2.1.6 Drievoudige trilzeef

De drievoudige trilzeef (Figuur 8) werkt volgens hetzelfde principe als de enkelvoudige trilzeef. Een elektrische motor zorgt voor de trilling en de zeven zijn geïsoleerd van de ondergrond door veren of rubbers. Het enige verschil met een enkelvoudige trilzeef is dat er nu meer zeven boven elkaar gemonteerd zijn. Dit zorgt er dus voor dat er 4 fracties van elkaar kunnen gescheiden worden. Het rechtstreekse nadeel is dat een drievoudige trilzeef nog een groter werkoppervlak nodig heeft omdat het materiaal nu door 3 zeven moet in plaats van 1. Het materiaal heeft dus meer tijd nodig om alle stadia te doorlopen.

De andere voordelen en nadelen neemt de drievoudige trilzeef over van de enkelvoudige trilzeef. Toch heeft dit laatste systeem nog een extra voordeel. Bij een enkelvoudige trilzeef is het eenvoudig om verstoppingen te ontstoppen of om de zeef te reinigen. Bij een drievoudige trilzeef is dit niet zo een eenvoudig proces omdat de bereikbaarheid niet goed is. Daarom worden meervoudige trilzeven demonteerbaar gemaakt. Men kan dus de zeven uit de machine halen. Dit bevordert het gebruiksgemak enorm tijdens onderhoud of reparatiewerken. [11]



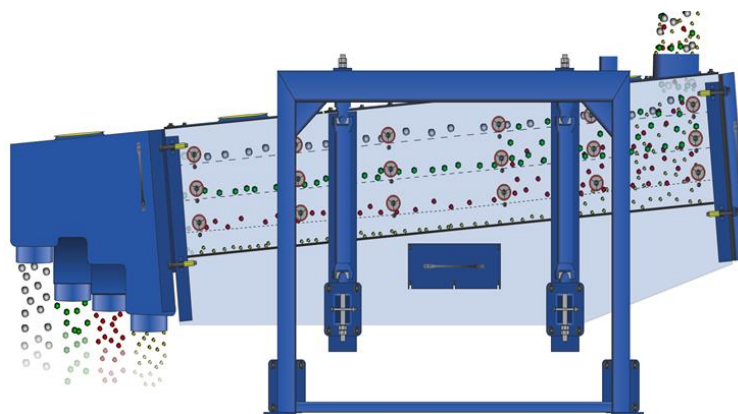
Figuur 8: Drievoudige trilzeef

2.1.7 Gyro scheider

De gyro scheider (Figuur 9) heeft veel weg van een meervoudige trilzeef en behaalt ongeveer dezelfde resultaten en heeft gelijkaardige voor- en nadelen. Toch kunnen we een groot onderscheid maken. Bij een trilzeef zorgt een elektrische motor voor hevige trillingen. Deze trillingen zijn meestal zeer belastend voor de constructie van de machine. Er is ook kans op rondvliegend materiaal omdat de trillingen voor hevige opwaartse bewegingen van het materiaal zorgen. Om deze zaken te vermijden is men het systeem waarop de gyro scheider gebaseerd is, gaan gebruiken.

Men werkt nog steeds met verschillende zeven om verschillende fracties te creëren maar de hevige trillingen laat men achterwege. In plaats daarvan maakt men gebruik van een snelle roterende beweging. In onderstaande Figuur 9 is een doorsnede van het zijaanzicht te zien. De roterende beweging wordt opgewekt door een mechanisme dat verbonden is met zowel de machine als het frame waar het geheel op steunt. Deze beweging ligt in hetzelfde vlak als de zeven. Het materiaal wordt dus niet meer omhoog geduwd maar beweegt horizontaal gelijk met de zeef. Door middel van kleine obstakels op de zeven kan men dezelfde voordelen halen als bij een gewone trilzeef. Mogelijk samengeklit materiaal breekt van elkaar af, vuil en zand worden verwijderd van het nuttige materiaal, kunststof folies rollen zich niet op,...

Omdat de machine constant in beweging is moet er regelmatig onderhoud uitgevoerd worden. Nalatigheid bij het onderhoud kan de levensduur sterk verminderen. Hier is eveneens een groot werkoppervlak nodig om de nodige scheiding te bekomen. [12]



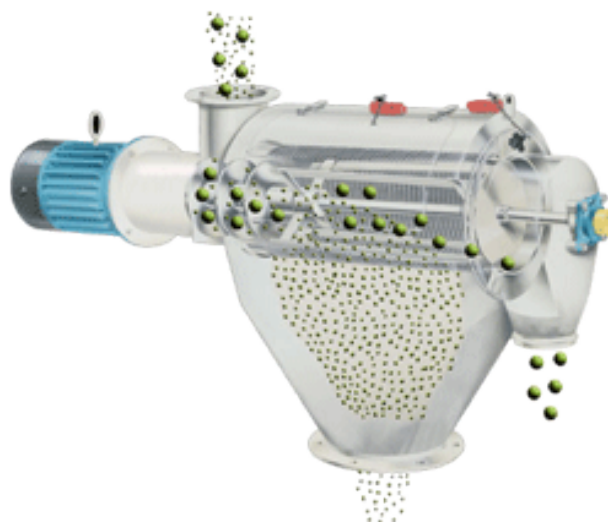
Figuur 9: Gyro scheider doorsnede zijaanzicht. Drie zeven, vier fracties.

2.1.8 Centrifugaal scheider

De centrifugaal scheider (Figuur 10) werkt, zoals het woord al zegt, met centrifugaal krachten. Men gaat een materiaalstroom in een snelle ronddraaiende beweging brengen. Dit zorgt ervoor dat al het materiaal naar buiten beweegt. Men beperkt deze beweging door een cilindervormige zeef. We kunnen spreken van een axiale en radiale stroom. De centrifugaal krachten zorgen voor de radiale stroom doorheen de zeef en het materiaal dat door de cilinder naar het uiteinde beweegt is de axiale stroom.

Het ongescheiden materiaal wordt via een pomp in een spiraalvormige stroom gebracht. De centrifugaal krachten zorgen er voor dat al het materiaal tegen de cilindervormige zeef geduwd wordt. Het materiaal dat klein genoeg is kan door de zeef en het materiaal dat te groot is wordt meegenomen met de axiale stroom. Zo gebeurt de scheiding van 2 fracties bij een centrifugaal scheider. We moeten hierbij wel vertellen dat de centrifugaal scheider vooral gebruikt wordt voor het scheiden van een vloeistof en een vaste stof. Hij is ook zeer efficiënt voor het scheiden van fracties met zeer kleine afmetingen.

Nadelig voor deze masterproef is dat de centrifugaal scheider maar een beperkt debiet kan verwerken. Ook mogen de partikels niet te groot zijn. Door het gebruik van partikels groter dan 80 mm is de centrifugaal scheider al zeker uitgesloten voor deze masterproef. Een ander nadelig gevolg is dat de kleinste fractie, die door de zeef geduwd is door middel van centrifugaal krachten, een zeer vochtige fractie is en er dus extra energie nodig is om deze te drogen als dit gewenst is. [13]



Figuur 10: Centrifugaal scheider

2.1.9 Circular screen separator

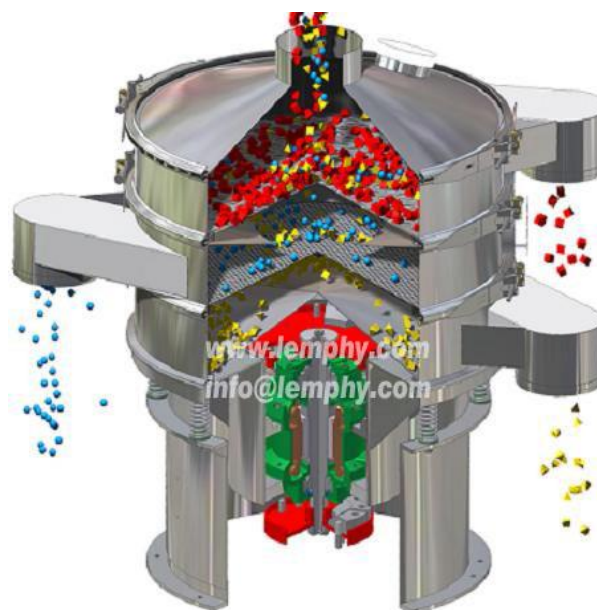
De *circular screen* scheider (Figuur 12) werkt volgens het zelfde principe als de gyro scheider gezien in hoofdstuk 2.1.7. Men maakt gebruik van een cirkelvormige beweging om het materiaal te verspreiden over de zeef. Alleen zijn deze zeven cirkelvormig. [14]



Figuur 11: Beweging materiaal bij een *circular screen* scheider

Het voordeel hiervan is dat het materiaal dat niet door de zeef valt, onmiddellijk afgevoerd wordt via een extractiebuis aan de zijkant van de cirkelvormige zeef. Men bepaalt ook zelf hoeveel fracties men wilt scheiden. Het is namelijk zeer eenvoudig om de machine uit te breiden. De zeven zijn verwerkt in een schijf en het zijn deze schijven die men op elkaar stapelt. Zo kunnen de verschillende fracties doorlopend en zonder onderbreking gevormd worden. Het creëren van een extra fractie staat gelijk aan het monteren van een extra schijf. De schijven hangen aan elkaar vast via een eenvoudig klemmingsmechanisme.

Het nadeel van dit stapelprincipe is het beperkte zeef-oppervlak dat men kan maken. Men kan de cirkelvormige zeven maar tot een bepaalde diameter maken zonder dat de zeven zullen doorzakken. Ook voor het onderhoud van de zeven moet de volledige opeenstapeling afgebroken worden. Eveneens komt de levensduur weer in het gedrang omdat we met een beweging werken en het te zeven materiaal zeer abrasief kan werken op de zeef. [15]



Figuur 12: Doorsnede *circular screen* scheider

2.1.10 Kegelvormige zeef

De kegelvormige zeef (Figuur 13) is een minder gebruikt zeefprincipe. Vooral door de complexe constructie die nodig is om het materiaal gelijkmatig te kunnen zeven. Om een goede scheiding in fracties te krijgen, moet er een mechanisme zijn dat het materiaal tegen de zeef aanduwt. Een voordelige keerzijde is wel dat men dan het volledige zeefoppervlak constant gebruikt. Dit geeft dus een zeer groot zeefoppervlak in een relatief kleine verpakking. Het is ook mogelijk een zeer groot debiet door een kegelvormige zeef te krijgen.

Tijdens de constructie van de zeef moet men oppassen dat de hoek van de kegel niet te steil is. Indien dat zo is, bestaat de kans dat sommige partikels rechtstreeks naar beneden rollen en niet eens in contact komen met de zeef. De kans op verstoppingen is ook zeer groot. Zeker als men te maken krijgt met kunststof folies. Nat materiaal kan ook gemakkelijk vast blijven hangen op de zeef indien er geen mechanisme is om het volledige zeefoppervlakte af te schrapen. Het laatste nadeel is dat men maar 1 zeef gebruikt. Dit resulteert in maximaal 2 fracties. Dit is niet zo een groot nadeel omdat een serie van kegelvormige zeven dit probleem reeds kan oplossen. [16]



Figuur 13: Kegelvormige zeef

2.2 Scheiding op basis van ferromagnetische eigenschappen

Het volgend fysisch scheidingsproces dat we bespreken is op basis van de ferromagnetische eigenschappen van metalen. In industrieel maar ook in huishoudtafval zijn metalen een belangrijke factor. Niet alleen nemen zij een niet verwaarloosbaar massagewichtspercentage in van de afvalstroom, ze zijn tegelijk ook zeer waardevol. Gezien het belang van metalen, hebben we een grote nadruk gelegd in de literatuurstudie voor het verwijderen van metalen. Na overleg met de externe promotoren is ook besloten om enkel ferromagnetisch materiaal te scheiden. Non-ferrometalen zijn in de meeste gevallen veel waardevoller dan ferrometalen. Echter vloeit deze keuze voort uit de testgegevens van de testopstelling, waaruit blijkt dat afvalstroom slechts een zeer laag percentage aan non-ferrometalen bevat. Daardoor zullen enkel scheidingsmethodes besproken worden die hierop van toepassing zijn.

2.2.1 Magneten

Een belangrijke eigenschap van metalen waarbij ijzer het voornaamste bestanddeel vormt, is dat magneten hier een aantrekkingskracht op uitoefenen. Deze eigenschap is zeer doeltreffend voor het verwijderen van ferromagnetische metalen uit afvalstromen. Er is geen ander materiaal in de afvalstroom dat door deze scheidingsmethode beïnvloed wordt en deze methode zorgt dus voor een zeer zuivere fractie van metalen. Enkel composiet materialen zorgen ervoor dat er ongewenst materiaal mee wordt gescheiden. Zoals een schroevendraaier die uit een metaal en kunststof deel bestaat.

Er bestaan 2 soorten van magneten die gebaseerd zijn op verschillende principes: permanente magneten & elektromagneten.

Permanente magneten zijn magnetische materialen die men magnetiseert. Er bestaan natuurlijke permanente magneten zoals zeilsteen (Figuur 14). Maar deze zijn slechts zeer zwak magnetisch en werden vele eeuwen gebruikt om kompasnaalden te magnetiseren. Permanente magneten hebben als voordeel dat ze geen energieconsumptie meer vergen eens ze gemagnetiseerd zijn en voor een zeer lange periode deze magnetisatie behouden. Geen energieconsumptie heeft ook als voordeel dat ze zeer geschikt zijn voor gebruik in explosiegevaarlijke omgevingen, of afgelegen plekken waar energie niet eenvoudig beschikbaar is. Een nadeel is wel dat deze minder krachtig zijn dan elektromagneten. Bepaalde legeringen van zeldzame aardmetalen lossen dit probleem gedeeltelijk op, maar zijn echter zeer kostelijk. Ook kunnen permanente magneten in tegenstelling tot elektromagneten niet zomaar uitgeschakeld worden.

Een extra voordeel van de eigenschap van permanente magneten is dat ze weinig tot geen onderhoud nodig hebben. Men kan zulke magneten weken tot zelfs maanden in gebruik hebben zonder er ook maar iets van onderhoud aan te doen.

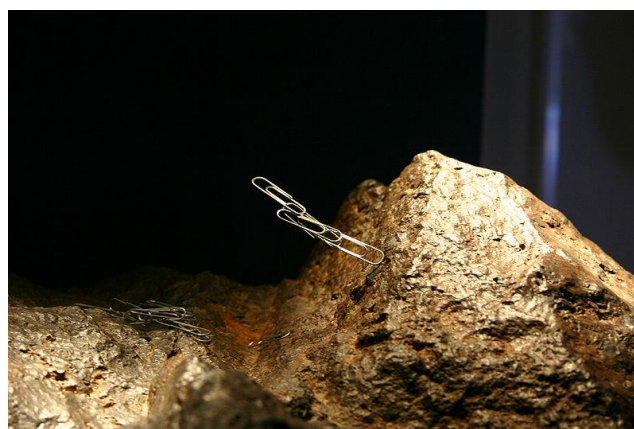
Het tweede principe is de elektromagneet. Een belangrijke eigenschap van een elektromagneet is dat de magnetische eigenschappen onmiddellijk kunnen worden uitgeschakeld, wat in bepaalde situaties zeer handig kan zijn. Als tweede eigenschap zijn zij ook veel krachtiger in vergelijking met permanente magneten, waardoor men voor dezelfde magnetische kracht een veel kleinere ondersteunende constructie kan gebruiken. Echter vraagt dit principe veel meer onderhoud en neemt de energieconsumptie toe naarmate men meer magnetische kracht wenst te gebruiken.

Een ander algemeen aspect van magneten, waar men rekening mee moet houden, is de afstand t van de magneet tot het materiaal dat men wil aantrekken. Bij het gebruik van magnetische kracht is het immers zo dat de aantrekkingskracht exponentieel afneemt met de afstand zoals blijkt uit de onderstaande formules. Aangezien elektromagneten sterker zijn, zullen zij ook een grotere afstand kunnen overbruggen om materiaal aan te trekken zo. [17] Verder informatie en een voorbeeldoefening over het berekenen van de magnetische kracht is te vinden in bijlage A.

$$F = A \frac{B_{lucht}^2}{2\mu_0}$$

$$B_{lucht} = H_{lucht} * \mu_0$$

$$H_{lucht} = \frac{H_{lucht} t_{lucht}}{t}$$



Figuur 14: Zeilsteen

2.2.2 Vaste Blokmagneten

Een vaste blokmagneet (Figuur 15) kan gezien worden als één van de eenvoudigste opstellingen, om ferromagnetische materialen te scheiden. Vaste blokmagneten worden gefabriceerd met permanente magneten of elektromagneten. De vaste blokmagneet is vaak een zeer grote magneet die geplaatst wordt boven een productiestroom. Het materiaal onder de magneet verplaatst zich door middel van een transportband. Hierbij worden de ferrometalen door de magneet aangetrokken en blijven ze aan de oppervlakte hangen. Na bepaalde intervallen moet de magneet worden gereinigd om metalen van het oppervlak te kunnen verwijderen.

Permanente blokmagneten zijn iets goedkoper dan de elektromagnetische variant. Maar kunnen niet eenvoudig worden uitgeschakeld. De mogelijkheid bestaat om ze te demagnetiseren of gebruik te maken van een tweede magneet om zo het magnetisch veld te neutraliseren, maar dit zijn vaak complexe systemen. De ferrometalen moeten dus handmatig verwijderd worden door ze af te vegen. Of er kan gebruik gemaakt worden van een reinigingsschuif die zich tussen de magneet en het metaal bevindt om dit proces te vereenvoudigen.

Elektromagnetische blokmagneten hebben het probleem niet van permanente blokmagneten bij het verwijderen van de ferrometalen. Ze kunnen eenvoudig worden uitgeschakeld, waardoor al het materiaal er van af valt.

Er is dus bij deze opstelling geen continue afvoer van de metalen, met als gevolg dat de magneet “verzadigd” kan geraken en dus geen grote hoeveelheden metaal aankan. De productiestroom moet ook onderbroken worden voor het reinigen van de magneet. Hierdoor worden ze vooral gebruikt waar weinig ferrometalen te vinden zijn in de productiestroom. Vooral ter bescherming van de machines die zich er achter bevinden. Er zijn echter ook voordelen verbonden aan deze opstelling. Zo is dit systeem zeer prijsgunstig, is de plaatsing zeer eenvoudig en als gevolg van het ontbreken van bewegende delen is het een zeer stijve en slijtvaste constructie die weinig onderhoud vergt. [18]



Figuur 15: Blokmagneet

2.2.3 Bovenbandmagneten

Een bovenbandmagneet (Figuur 16) bouwt verder op het basisidee van een vaste blokmagneet om zo de nadelen te omzeilen van de vaste blokmagneet. Wat de constructie betreft verandert er weinig ten opzichte van een blokmagneet. Er is opnieuw de mogelijkheid om gebruik te maken van elektromagneten of permanente magneten. De keuze wordt vaak gemaakt op basis van hoe sterk de aantrekkingskracht moet zijn.

Een groot probleem van een gewone vaste blokmagneet is dat er geen sprake is van een continue afvoer van ferrometalen. De bovenbandmagneet lost dit op door een kleine transportband te voorzien rondom de vaste blokmagneet. Als gevolg hiervan worden de ferrometalen continue afgevoerd langs de transportband. Eens het metaal de cruciale afstand voor het behouden voldoende aantrekkingskracht overschreden heeft, waarbij de zwaartekracht opnieuw zwaarder zal doorwegen dan de magnetische aantrekkingskracht, zal het metaal loskomen van de band om zo verder te worden afgevoerd. Deze toepassing is dus uiterst geschikt waar de productiestroom grote hoeveelheden ferrometalen bevatten en een continue werking gewenst is.

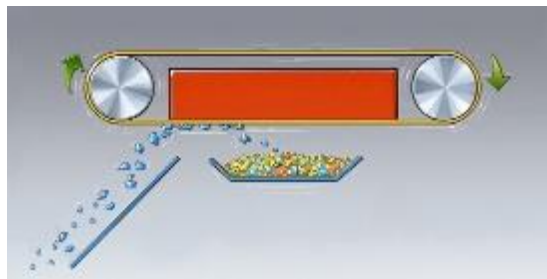
Dit systeem heeft als voordeel dat de algehele constructie vrij eenvoudig blijft, terwijl de doorgaans toch al hoge efficiëntie voor het ontijzeren nog verhoogd kan worden door in meerdere stappen te werken. Als gevolg van een bewegende transportband is er echter meer onderhoud nodig. De rubberen band in onderhevig aan slijtage en zal dus op regelmatige basis vervangen moeten worden. [19]



Figuur 16: Bovendbandmagneet

2.2.3.1 Dwarsopstelling

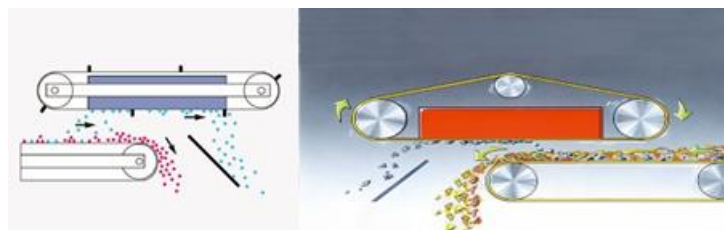
Dwarsopstelling is een opstellingsmogelijkheid van de bovenbandmagneet. Bij deze opstelling kruist de bovenbandmagneet de onderliggende transportband loodrecht. Bijvoorbeeld op figuur 17 zal afvalstroom uit het blad komen, terwijl het metaal van rechts naar links wordt afgevoerd. Deze opstelling is effectief indien men gebruik maakt van een brede transportband. Het nadeel dat hieraan verbonden is dat de efficiëntie daalt daar er slechts een kleine tijd invloed wordt uitgeoefend door de magneet op de afvalstroom. Afvalstroom zal dus eerder een beperkte laagdikte mogen hebben.



Figuur 17 : Dwarsopstelling bovenbandmagneet

2.2.3.2 Lijnopstelling

Bij een lijnopstelling (Figuur 18) wordt de bovenbandmagneet parallel opgesteld met de transportband die eronder beweegt. Door de lang magnetische invloed op de afvalstroom is er een goede efficiëntie bij het verwijderen van de ferrometalen. Deze opstelling vergt echter wel een goede snelheidsregeling van de bovenbandmagneet ten opzichte van de transportband. Voor een goede werking moet deze iets sneller draaien dan de transportband.



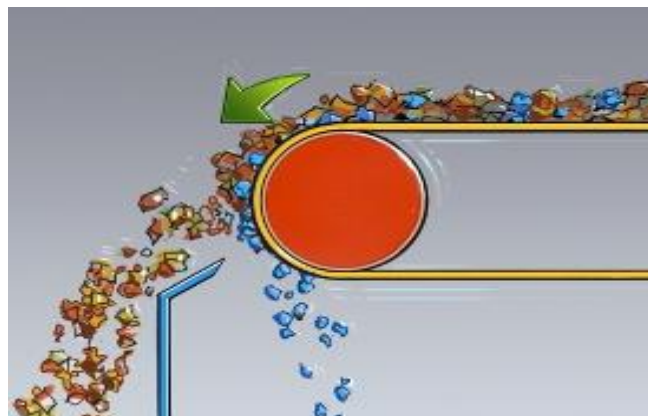
Figuur 18: Lijnopstelling bovenbandmagneet

2.2.4 Koprolmagneten / magneetrollen

Vertrekkend van de gedachte om een ferrometaal scheider te maken die zeer weinig plaats inneemt is de koprolmagneet of magneetrol (Figuur 19) ontstaan. In dit systeem heeft men een magneetrol ingebouwd op het einde van de transportband, en zal slechts evenveel plaats innemen als bij het gebruik van alleen een transportband. De magneetrol op het einde zal ervoor zorgen dat het metaal iets langer op de transportband blijft hangen in vergelijking met al de andere materialen in de afvalstroom. Door het plaatsen van een scheidingswand houdt men dan de 2 gecreëerde productiestromen gescheiden om hermenging te vermijden. Er is hier opnieuw sprake van een continue werking voor het scheiden van metalen.

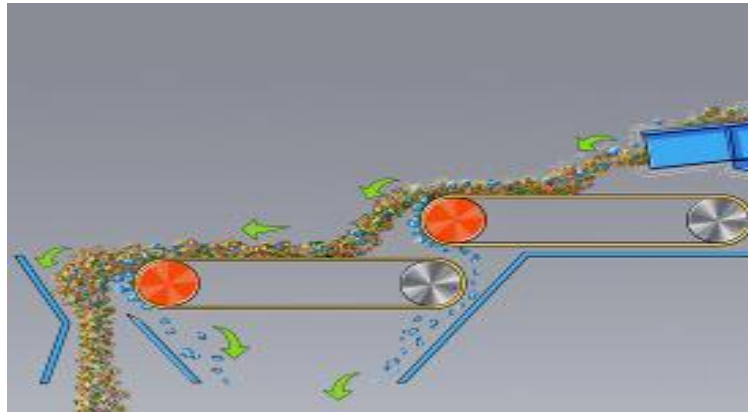
Een positief aspect van een magneet die zich in de transportband bevindt, is de zeer geringe afstand tussen de magneet en de productiestroom. Gezien de eigenschappen van magnetische aantrekkingskracht, die exponentieel afneemt met de afstand, zorgt dit voor een zeer efficiënte werking ten opzichte van vorig vermelde systemen. Buiten de goede werking is het ook een eenvoudig systeem qua opbouw, dat weinig onderhoud vergt.

Hier tegenover staat wel dat er ook redelijk wat negatieve aspecten aan verbonden zijn. Zo zal er een grote hoeveelheid van niet ferrometalen meegenomen worden. Vooral stoffen uit de afvalstroom die zich tussen een metaal en de transportband bevinden. De eerder vermelde scheidingswand moet ook zeer correct gepositioneerd worden voor een goede werking, afhankelijk van de snelheid van de transportband, en de aantrekkingskracht van de magneet. Als gevolg van het feit dat de magneet wordt ingebouwd in de transportband zelf, creëert men ook een zeer zware constructie die moeilijk te plaatsen is. [20]



Figuur 19: Koprolmagneet

Indien men een hogere efficiëntie wil bereiken in het systeem kan men eenvoudig gebruik maken van meerdere koprolmagneten (Figuur 20).



Figuur 20: Dubbele bovenbandmagneet

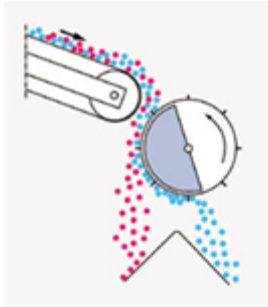
2.2.5 Trommelmagneten

Trommelmagneten (Figuur 21 en 22) zijn een variatie op de koprolmagneten die ook continue ferrometalen scheiden. Hier gebruikt men echter niet meer de combinatie van de transportband met een ingebouwde magneet, maar een volledig gescheiden opstelling. Hierbij verliest men wel echter het voordeel van de beperkte plaats inname van de compacte koprolmagneten.

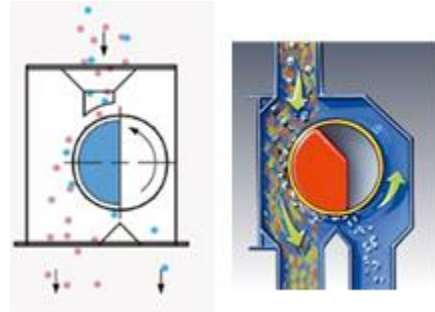
De trommelmagneet wordt bijvoorbeeld op het einde van een transportband geplaatst. Het materiaal uit de productiestroom zal hierbij langs de flank van de trommelmagneet vallen. De magneet trekt de ferrometalen aan die in de productiestroom zitten. Deze worden dan door de trommel meegenomen tot aan de onderzijde. Daar zal de magnetische kracht ten einde komen en laten de ferrometaaldelen los van de trommel. Op al het ander materiaal heeft de trommel geen invloed en die zullen dus niet meegenomen worden.

Als voordeel kan men nu wel veel grotere trommelmagneten gebruiken om zo een betere scheiding te krijgen van de ferrometalen uit de afvalstroom, en dit voor een verscheidenheid aan fractiegroottes van de afvalstroom. De trommelmagneet kan zelfs zo sterk worden uitgevoerd, zodat zwak magnetische materialen zoals roestvast staal ook verwijderd kunnen worden.

Ten tweede is men nu niet meer verplicht een transportband te gebruiken voor de aanvoer van de afvalstromen. De mogelijkheid bestaat er nu in dat een trilplaat (Figuur 23) kan dienen of andere varianten op de aanvoer die gebruik maken van zwaartekracht zoals verticale trommelmagneten en deflectie trommelmagneten



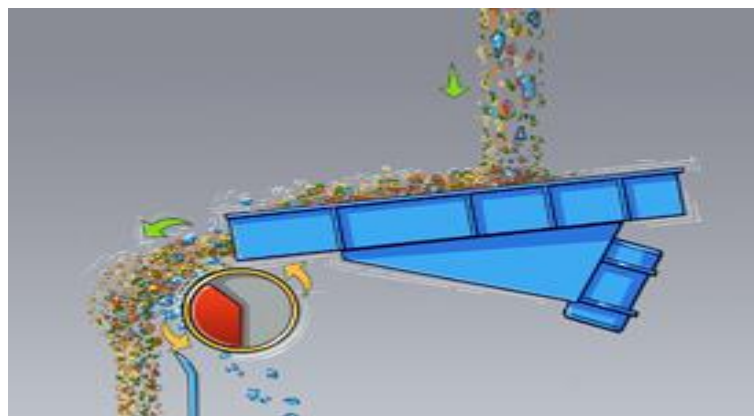
Figuur 22: Deflectie trommelmagneet



Figuur 21: Verticale trommelmagneet

Ten derde is dit systeem ook eenvoudiger naar onderhoud toe. De trommelmagneet is in tegenstelling tot de koprolmagneet makkelijker te bereiken. Er bestaat met dit systeem ook een minder grote kans dat non-ferro materialen tussen het metaal en de magneet gekneld worden. Het gunstig gevolg is dat de gescheiden ferrometalen fractie zuiverder is dan bij het gebruik van koprolmagneten.

Deze opstelling is echter geen sinecure als het aankomt op het plaatsen en afstellen van de scheidingswand, trommelmagneet en transportband.[21]

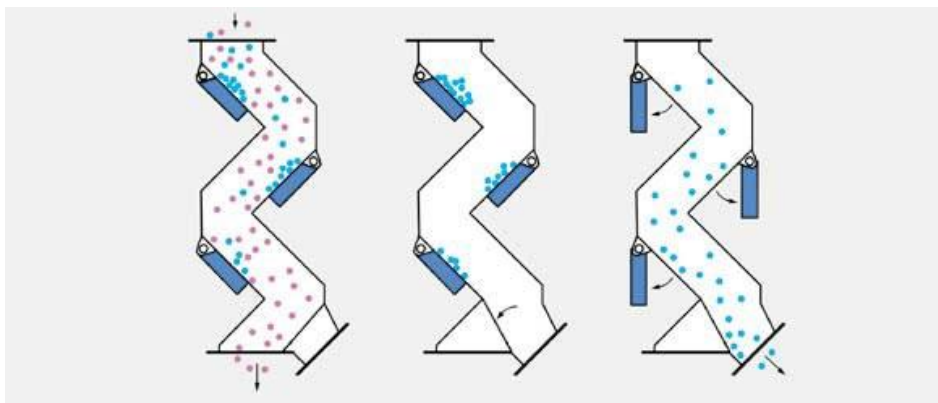


Figuur 23: Trommelmagneet

2.2.6 Cascade magneet systeem

Een cascade systeem bestaat uit magneten die zigzag geplaatst worden in een verticale afvalstroom zoals in Figuur 24. Voor de afvoer van ferrometalen zal, zoals bij de vaste blokmagneet, de werking moeten stilgelegd worden. Er is dus geen sprake van een continue verwijdering. Met dit systeem tracht men een betere efficiëntie te bereiken door direct contact te creëren tussen de magneet en de productiestroom. De magneten zullen als gevolg hiervan een veel grotere kracht kunnen uitoefenen op de ferrometalen.

Tijdens de productiestroom zullen de magneten het metaal vast houden tijdens de doorgang. Op bepaalde intervallen zal men dan de productiestroom onderbreken. In deze intervallen zullen de magneten verwijderd worden van de wanden van de doorgang door geautomatiseerde cilinders en komen de ferrometalen vrij. Deze zullen dan door een aparte afvoer om zo een geschiede fractie te creëren. [22]



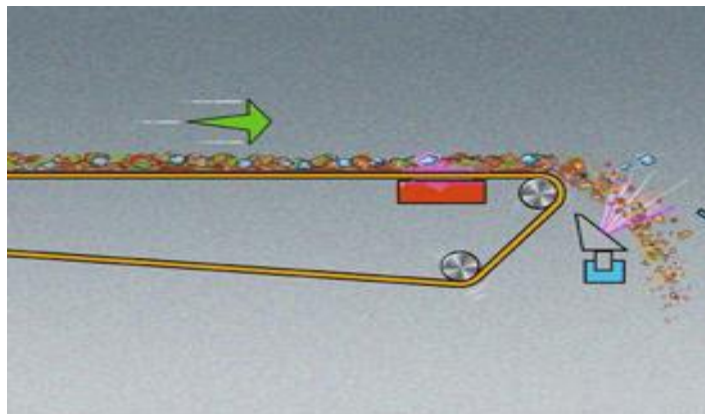
Figuur 24: Cascade magneet systeem

2.2.7 Sensorscheiders

Een opkomende technologie, die niet enkel geschikt is voor het verwijderen van metalen, maar zowat elk soort materiaal, en dit zonder gebruik te maken van magneten bij het scheiden, zijn de sensorscheiders (Figuur 25).

Bij dit systeem gaat men met camera's of andere vormen van sensoren de productiestroom op de transportband scannen. Voor een goede efficiënte is hiervoor ook een goede verspreiding van het materiaal nodig. Een computer zal met de gegevens van de sensoren bepalen over welk materiaal het gaat. Op het einde van de transportband bevindt zich de scheider gebaseerd op luchtdrukstoten. Via software kan de exacte plaats van in het materiaal in zijn vrije afwerpcurve bepaald worden. Met deze gegevens stuurt men dan de luchtpulsen aan om zo het stuk uit de productiestroom te schieten tot achter een scheidingsschot.

Daar dit systeem een goede verspreiding van het materiaal vergt, is dit eerder geschikt voor kleinere debieten. Ook is het door de luchtpuls scheider niet mogelijk stukken kleiner dan 5mm te verwijderen. [23]



Figuur 25: Sensorscheiders

2.3 Scheiding op basis van densiteit

Een minder voor de hand liggende scheidingsmethode is het scheiden op basis van densiteit. Hierbij tracht men de materialen uit de afvalstroom te scheiden volgens hun verschillende densiteit. Het is mogelijk om alle soorten materialen van elkaar te scheiden zolang er een onderscheid bestaat tussen de densiteit van de 2 materialen die men wil scheiden. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om lichtere materialen zoals papier en plastic folies te scheiden van stenen en hout. Men legt dus een grens op een bepaalde densiteit. Hierdoor krijgt men twee aparte fracties, één met een zwaardere en één met een lichtere densiteit dan de opgelegde grens.

2.3.1 *Windshifters*

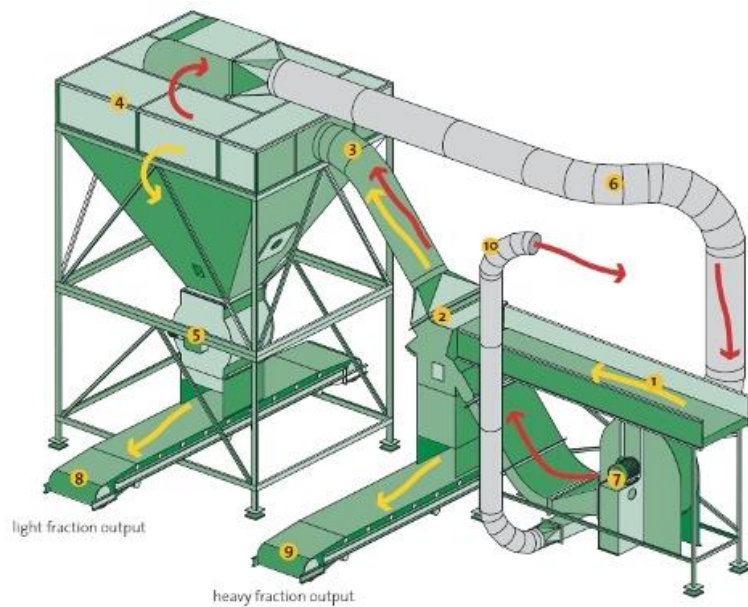
Een van de meest gebruikte densiteit scheidingsystemen is de *windshifter*. (Figuur 26) Via een transportband voert men de productiestroom aan die moet gescheiden worden. Door middel van een exact gedimensioneerde luchtstroom die bepaald is op basis van waar men de densiteitsgrens legt, creëert men twee fracties, één lichte en één zware. De lichte materialen worden meegenomen door de luchtstroom naar een aparte afvoer. De zwaardere materialen ondervinden niet genoeg kracht om meegenomen te worden en zullen hierdoor ongehinderd apart afgevoerd worden van de lichte materialen.

Het is een zeer efficiënte methode die met een lage energieconsumptie een scheiding van 99% kan realiseren.[24] Gecombineerd met een zeer hoge capaciteit die verwerkt kan worden en lage onderhoudskosten maakt van de *windshifter* een veel voorkomend systeem.

Een nadeel is wel dat voor de realisatie van goede efficiëntie, er een goede voorsortering nodig is op basis van grootte. De densiteit van het materiaal gecombineerd met de grootte van een stuk materiaal geeft het gewicht. Om een goede scheiding te hebben op vlak van densiteit mag er dus een niet al te groot verschil zijn in grootte tussen de materialen in de productiestroom.

Airflow (red) and materials (yellow)

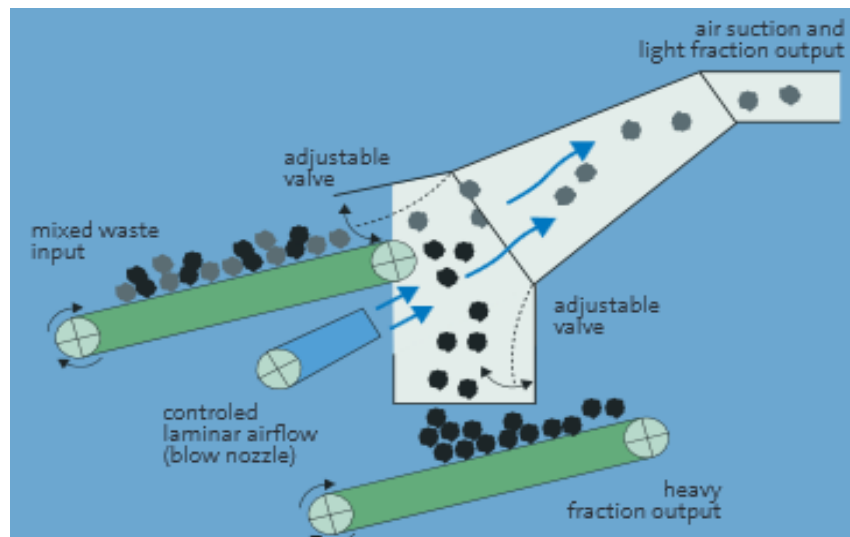
1. Product Input Conveyor (PIC)
2. Windshifter
3. Material transport ducting
4. Combi Separator
5. Rotary Valve
6. Air return Ducting
7. Recirculation Fan
8. Light fraction Conveyor
9. Heavy fraction Conveyor
10. Exhaust air to Filter-Unit.



Figuur 26: Windshifters

2.3.1.1 Blazende windshifters

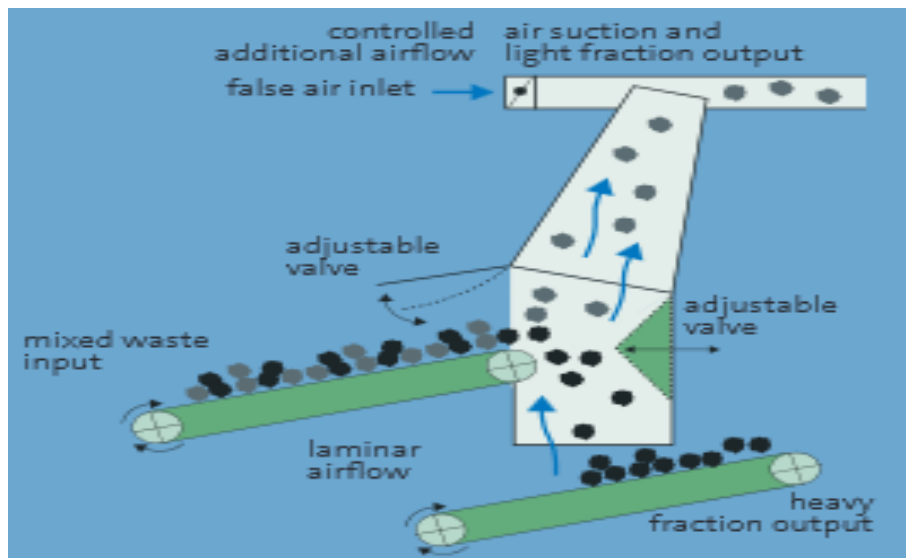
Blazende *windshifters* (Figuur 27) zijn een type van *windshifter* waarbij de exact gedimensioneerde luchtstroom effectief in contact komt met de productiestroom en voor de scheiding zorgt. Deze manier is iets eenvoudiger op het vlak van dimensionering van de luchtstroom, maar produceert wel veel stof tijdens het scheidingsproces.



Figuur 27: Concept blazende windshifters

2.3.1.2 Zuigende *windshifter*

In tegenstelling tot een blazende *windshifter*, wordt bij een zuigende *windshifter* (Figuur 28) de exacte gedimensioneerde lucht niet rechtstreeks gebruikt om de scheiding te realiseren. In plaats daarvan wordt een onderdruk gecreëerd in een leiding, die een zuigkracht teweegbrengt en op deze manier zorgt dat lichte materialen worden meegenomen. Dit is iets complexer maar heeft als voordeel dat er minder stof optreedt tijdens het scheidingsproces. [24]



Figuur 28: Concept zuigende *windshifters*

2.3.2 Ballistische scheider

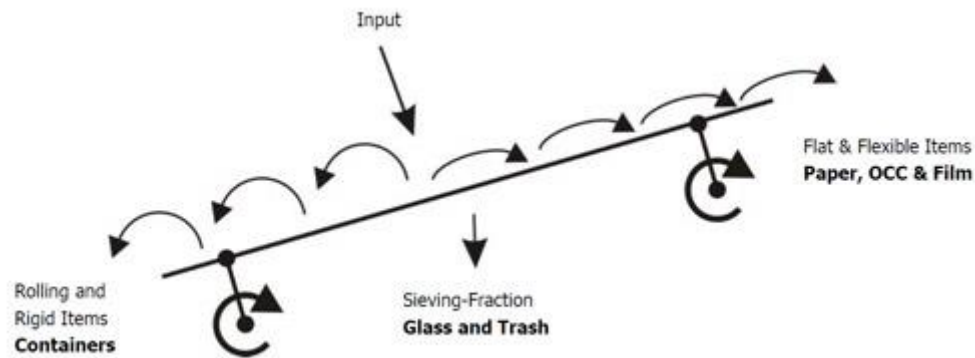
Ballistische scheiders (Figuur 31) worden niet standaard toegepast om te scheiden op basis van densiteit. Hun oorspronkelijk doel is te scheiden op basis van 2D of 3D eigenschappen. Dankzij hun unieke eigenschap worden zij ook gebruikt om te scheiden op basis van grootte zoals eerder vermeld in hoofdstuk 2.1.3

Ballistische scheiders bestaan uit verschillende peddels (Figuur 29) die parallel zijn opgesteld ten opzichte van elkaar. Elke peddel heeft een roterende beweging die iets verschoven is in positie ten opzichte van de andere peddels. De peddels staan onder een lichte helling.



Figuur 29: Peddels ballistische scheider

Als aanvoer laat met de productiestroom continue vallen op het midden van de ballistische scheider (Figuur 30). De zeer snelle roterende beweging van de peddels zorgt ervoor dat materialen in de productiestroom eerst goed uit elkaar worden geschud, om zo te vermijden dat materialen aan elkaar blijven plakken. De peddels geven ook een lichte opwaartse kracht mee aan de materialen in de productie stroom. Als gevolg hiervan zullen lichte en platte 2D materialen naar boven worden afgevoerd. Zwaardere, grotere en holle 3D materialen ondervinden niet genoeg kracht en zullen naar beneden bewegen. Zo zullen bijvoorbeeld bij een mix van papier en flessen, het papier mee naar boven genomen worden en de flessen langs onder afgevoerd. Tegelijk kan men ook zeer fijne fracties zoals zand afvoeren door de peddels mits de peddels voorzien zijn van gaten. [25]



Figuur 30: Concept ballistische scheider

Het is niet alleen mogelijk om ballistische scheiders te gebruiken voor het scheiden op basis van 2D of 3D eigenschappen van het materiaal, maar ook op densiteit. Dit is mogelijk door het systeem te over dimensioneren. Zo zou een verdubbeling nodig zijn van de verwerkingscapaciteit in vergelijking met het standaard gebruik als 2D en 3D scheidingssysteem. Dit gecombineerd met een goede voorsortering op fractiegrootte van het materiaal dat men aanvoert aan de ballistische scheider, laat toe om een densiteitsgrens te creëren zodat zware materialen afgevoerd worden langs onder en lichte materialen langs boven.

Indien men alle eigenschappen van een ballistische scheider bekijkt, komt men tot de conclusie dat dit een zeer interessante scheidingsmethode is. Er bestaat dus een mogelijkheid voor het scheiden op basis van 2D of 3D en densiteit. De eventueel minder gewenste materialen zoals zand kunnen apart afgevoerd worden. Dankzij het grote debiet dat verwerkt kan worden en de mogelijkheid om materialen los te schudden, is de ballistische scheider een systeem dat een hoge efficiëntie kan behalen. [26]

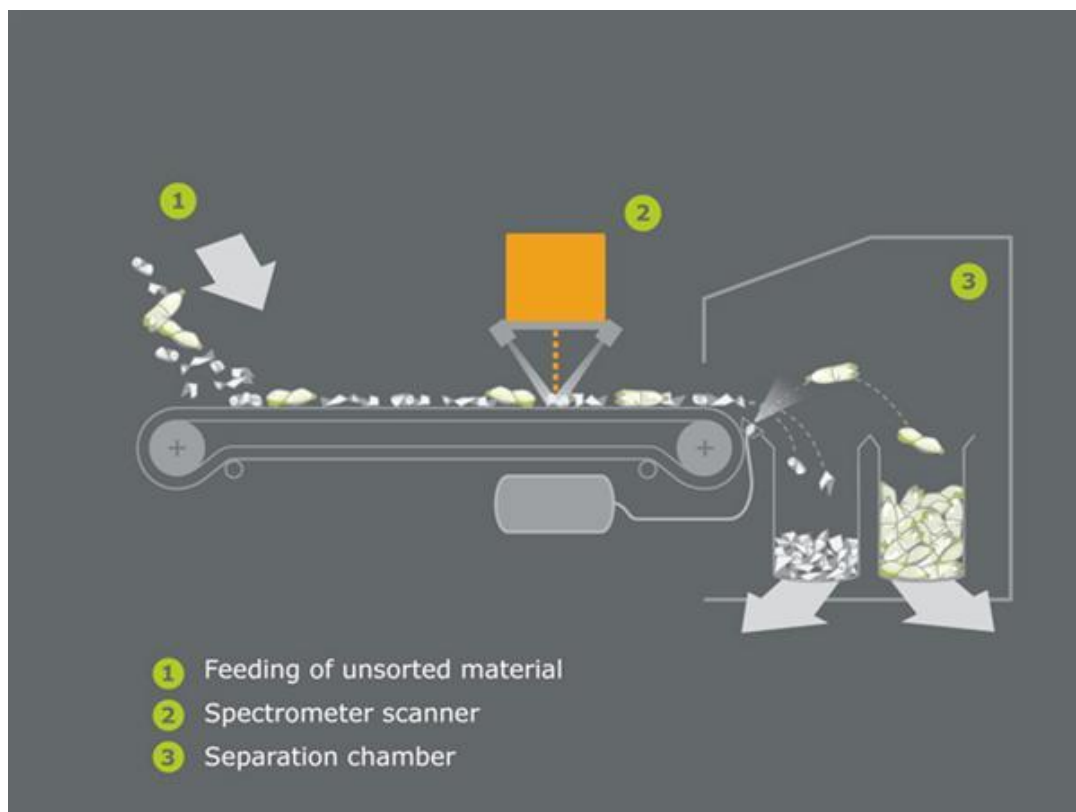


Figuur 31: Ballistische scheider

2.3.3 Sensor scheider

Sensor scheiders (Figuur 32) zijn zoals eerder vermeld bij metaal scheiders, breed toepasbare systemen. Er kunnen meerdere materialen tegelijk gescheiden worden.. Met de juiste sensoren is het ook mogelijk om de densiteit te bepalen. Dit kan onder andere door gebruik te maken van infrarood licht, röntgenstralen of optisch. De bepaling van de densiteit kan zo zeer efficiënt verlopen. De sensoren bevinden zich net voor het einde van de transportband. Dankzij de verzamelde gegevens kan de software de densiteit van de verschillende materialen bepalen en hun exacte positie in de vrije afwerpcurve aan het einde van de transportband. Deze data wordt dan gebruikt om de luchtpulsen aan te sturen om zo de verschillende delen uit de afvalstroom te schieten.

In vergelijking met andere systemen wordt dit type scheider veelal gebruikt bij het scheiden van kleinere debieten. Dit komt omdat de materiaalstroom zeer goed verspreid moet zijn om een goede densiteitsbepaling te doen. De verspreiding van de materiaalstroom is ook cruciaal voor het verwijderen van een bepaald materiaal via de luchtpulsen. Hierdoor is dit systeem minder geschikt voor grote afvalstromen. Ook is men begrensd tot een minimale grootte van 5mm. [27]



Figuur 32: Sensor scheider

2.3.4 Handpicking

Een nog altijd veel voorkomende scheidingsmethode is het manueel sorteren van materialen (Figuur 33). Getrainde werknemers kunnen een zeer goede scheiding realiseren op vlak van densiteit. *Handpicking* is niet enkel efficiënt voor scheiding op densiteit, maar kan ingezet worden om elk type materiaal uit de productiestroom te scheiden.

Bij deze manier van scheiden moet er wel rekening gehouden worden met menselijke aspecten. Zo zal de effectiviteit van de scheiding niet consistent blijven, kunnen er bepaalde materialen in de productiestroom zitten die schadelijk kunnen zijn voor de mens, en is dit een zeer arbeidsintensief proces.

Ondanks de hoge arbeidskosten van deze manier van scheiden, die ook recht evenredig zijn met het te verwerken debiet, is *handpicking* soms de enige mogelijk manier om te voldoen aan bepaalde wensen op vlak van scheiding.



Figuur 33: *Handpicking*

2.3.5 Sink / Float scheider

Sink Float tanks (Figuur 34) zijn een scheidingsmethode die gebruik maakt van water voor het scheiden op basis van dichtheid. Er wordt gebruik gemaakt van zeer grote tanks gevuld met water. Water heeft een dichtheid van 1000kg per m^3 . Als gevolg hiervan zullen alle materialen met een dichtheid hoger dan water naar de bodem zinken. Al het materiaal in de afvalstroom dat een dichtheid heeft lager dan water zal dus blijven drijven aan het oppervlak van de tank. De twee gecreëerde fracties kunnen vervolgens op zeer veel verschillende manieren verwijderd worden uit de baden. Eén methode is het gebruik van twee transportbanden, waarbij er zich een transportband aan de bodem bevindt, die al het materiaal meeneemt dat is gezonken en een tweede transportband die alles afvoert aan de oppervlakte is blijven drijven.

Op deze manier kan men zeer eenvoudig een dichtheidscheiding realiseren zonder gebruik te maken van een al te complex systeem en is het eenvoudig de opstelling te vergroten naargelang het te verwerken debiet.

Een nadeel is echter dat men slechts zeer beperkt kan inspelen op de dichtheidsgrens waar men rond wilt scheiden. Voor water ligt dat vast op 1000kg per m^3 . Het is mogelijk deze licht te laten variëren door gebruik te maken van additieven, maar slechts in zeer beperkte mate.

Als gevolg van het gebruik van water zal de afvalstroom echter een zeer hoog massaprocent aan water bevatten, hetgeen niet altijd gewenst is. Hierdoor moet men mogelijk extra energie gebruiken om de natte afvalstroom te drogen.[28]

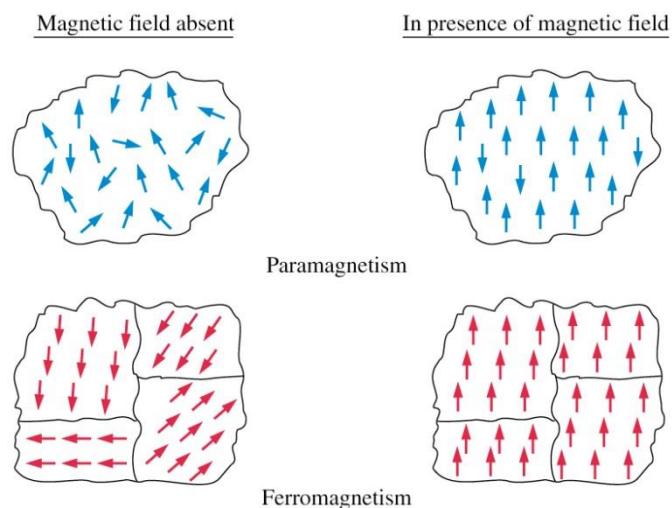


Figuur 34: *Sink float* tank

2.3.6 Magnetische vloeistof scheider

In de periode dat de masterproef zich afspeelde was dit nog een nieuwe techniek die onderzocht werd aan de TU Delft (Figuur 37). In de toekomst lijkt dit een zeer unieke en interessante scheidingsmethode te worden. Die maakt gebruik van vloeistoffen die magnetische eigenschappen bevatten zoals mangaan chloride of water met ijzeroxide.

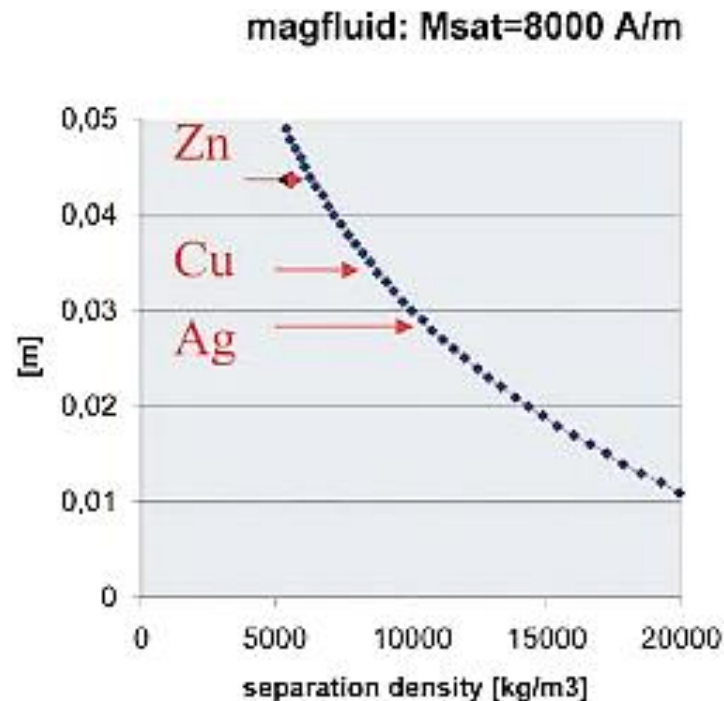
Zowel mangaan chloride als water met ijzeroxide zijn non-ferromagnetische materialen. Deze groep kan men opsplitsen in twee delen, de paramagnetische en diamagnetische stoffen. Bijna alle non-ferromagnetische stoffen zijn diamagnetisch en zullen dus afgestoten worden indien ze zich in een magnetisch veld bevinden (Figuur 35). Paramagnetische stoffen daarentegen voelen zich aangetrokken tot een magneet, indien ze blootgesteld worden aan een magnetisch veld. De afzonderlijke moleculen zullen zich dan individueel gedragen als zeer zwakke magneten, maar gezamenlijk een aanzienlijk sterk magnetisch veld opwekken en zich in dezelfde richting oriënteren. [29][30][31][32]



Figuur 35: Invloed magnetisch veld op paramagnetische en ferromagnetische stoffen

De vloeistof juist boven de magneet is onderhevig aan de grootste magnetische kracht en krijgt een hogere densiteit. Naarmate men verder verwijderd is van de magneet neemt de invloed van het magnetisch veld af en daarbij ook de densiteit van de vloeistof. Het handige aan deze techniek is dat andere materialen geen densiteitsverandering ondergaan als ze blootgesteld worden aan een magnetisch veld. Hierdoor kunnen paramagnetische stoffen gebruikt worden voor het scheiden van materialen met verschillende densiteit. Het resultaat hiervan is, dat indien er zich een onderdeel van een bepaald materiaal in de vloeistof bevindt, de omliggende vloeistof plots een hogere densiteit krijgt door invloed van het magnetisch veld (Figuur 36).

Hierdoor zal het onderdeel met een constante en lagere densiteit beginnen stijgen, of dalen indien het een hogere densiteit heeft. Door de sterkte van het magnetisch veld aan te passen kan men de densiteit van de paramagnetische vloeistof laten variëren.



Figuur 36: Relatie tussen de densiteit van elk materiaal en diepte waar deze materie blijft hangen

Op deze manier kan men in één enkel proces de productiestroom niet enkel splitsen in twee fracties, maar is het mogelijk te scheiden op een grote variëteit aan densiteit. Door verschillende densiteitslagen in de vloeistof te hebben, verdeelt heel de productiestroom zich in de vloeistof en kan hierdoor in aparte fracties afgevoerd worden. [33]



Figuur 37: Test opstelling TU delft

2.4 Drogen

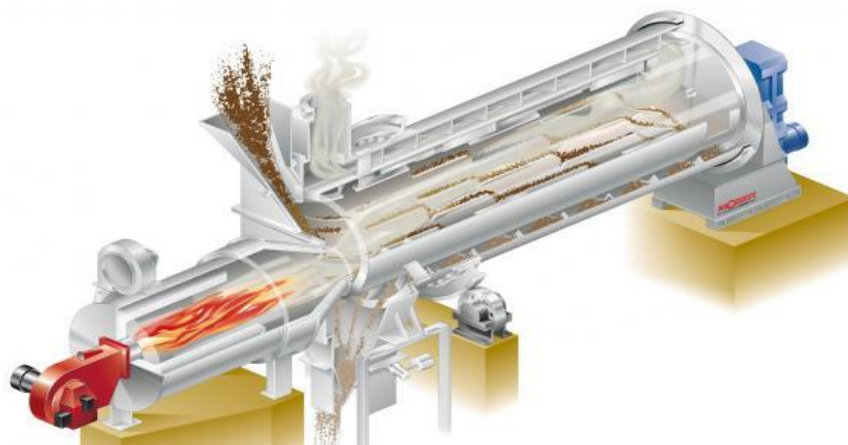
Eén van de belangrijkste eisen die werden gesteld aan deze masterproef was om ervoor te zorgen dat het opgegraven afval genoeg gedroogd was. Het materiaal dat in een latere stap gebruikt wordt voor waterstofextractie mag namelijk niet meer dan 20% massa gewicht water bevatten. Het materiaal in de afvalopslagplaatsen is soms volledig doorweekt, waardoor een droogproces haast noodzakelijk is.

Hieronder gaan we enkele droogprocessen bespreken. Graag willen we benadrukken dat dit niet alle mogelijke systemen zijn. We hebben tijdens het zoekproces rechtstreeks rekening gehouden met het verwerkbaar debiet. Dit moest voldoende hoog zijn om aan de eisen van Group Machiels te voldoen. Zo vallen discontinue droogsystemen, waarbij de aanvoer van materiaal moet stoppen tijdens het drogen, al weg. Ook de systemen die werken op infrarood zijn beperkt. Deze systemen werken niet snel genoeg en zijn zeer complex.

2.4.1 Droogtrommel

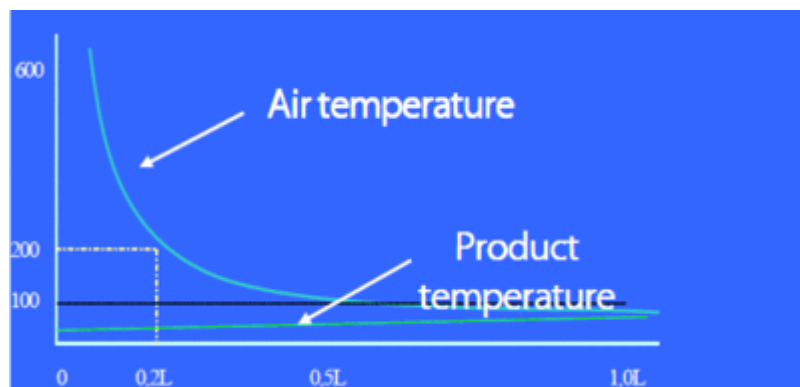
Dit is één van de simpelste en meest efficiëntste drogingssystemen die er bestaan. Omwille van het lage gewicht van sommige materialen hebben we voor een gelijkstroom systeem gekozen. Dit betekent dat de warmte- en materiaalstroom in dezelfde richting bewegen. De droogtrommel is qua uiterlijk en aandrijving vergelijkbaar met de eerder besproken trommelzeef. Er zijn eigenlijk maar vier grote verschillen met een trommelzeef.

Het eerste en meest relevante verschil is dat doorheen de droogtrommel oververhitte lucht wordt geblazen. Meestal wordt het afval in de trommel gebracht via een afgesloten trechtersysteem om geen oververhitte lucht te laten ontsnappen. Dit kunnen we zien in Figuur 38 [34]. In sommige gevallen wordt het afval in deze luchtstroom gebracht om het zo in de droogtrommel te blazen..



Figuur 38: Doorsnede van een droogtrommel

Als tweede heeft de droogtrommel uiteraard geen openingen in het manteloppervlak van de cilinder. De volledig dichte constructie zorgt ervoor dat de oververhitte lucht niet kan ontsnappen. Dit is gedaan om het materiaal beter te drogen, warmteverliezen te beperken, de warmte energie-efficiënt te gebruiken en om de omgeving en werknemers te beschermen tegen de oververhitte lucht. Deze lucht kan wel tot 1000°C worden [35]. Zulke hoge temperaturen hebben echter zeer weinig tot geen effect op het materiaal dat men droogt. Brandbare materialen zoals hout en papier zullen niet ontbranden omdat water een hoge warmtecapaciteit heeft. Het water zal dus zo goed als alle warmte opnemen en verdampen vooraleer het materiaal aan zijn zelfontbrandingstemperatuur komt. In onderstaande figuur 39 is dit ook duidelijk te zien. De luchttemperatuur daalt ook naarmate er meer water verdampt. De materiaaltemperatuur blijft duidelijk onder de 100°C en dus ver onder de zelfontbrandingstemperatuur van hout en papier. [36]



Figuur 39: Grafische weergave lucht- en materiaaltemperatuur

Het derde verschil is het meest zichtbare verschil. Om al het materiaal effectief te drogen moet een droogtrommel zeer lang zijn. Deze lengtes kunnen oplopen tot bijna 50 meter [37]. We kunnen deze enorme lengtes ontlopen door dubbele droogtrommels te gebruiken. Figuur 38 is hier ook een voorbeeld van. Deze hebben hetzelfde basisontwerp als een dubbele trommelzeef maar de werking is anders. Het materiaal komt binnen langs de binnenste trommel. Aan het andere uiteinde valt het afval naar de buitenste trommel en wordt via spiraalvormige schoepen (zie Figuur 40) terug naar de inkomende zijde van de dubbel trommelzeef gebracht. Zo overloopt het materiaal twee keer de afstand van de trommel en kunnen we dus de totale lengte van de droogtrommel verkleinen.

Het laatste verschil met een trommelzeef zijn de schoepen die men in de droogtrommel plaatst. In een trommelzeef is het gewenst om zoveel mogelijk contact te creëren tussen het manteloppervlakte en het materiaal. Bij een droogtrommel wil men net zo snel mogelijk het materiaal drogen. Dit kan bevorderd worden door het materiaal omhoog te gooien en het langs alle kanten gedroogd kan worden. Daarom hebben droogtrommels zeer veel schoepen ingebouwd om al het materiaal goed te verspreiden en omhoog te gooien. In Figuur 40 kunnen we zulke schoepen zien. [35][38]



Figuur 40: Droogtrommel met spiraalvormige schoepen

2.4.2 Droogtunnel

De droogtunnel (Figuur 41) is ook een veel voorkomend systeem. Het grote voordeel van een droogtunnel zijn de verschillende systemen van drogen. Bij zowat elke droogtunnel maakt men gebruik van conventionele transportbanden die tegen hoge temperaturen kunnen. Het uiterlijk van een droogtunnel is meestal ook niet veel verschillend. Echter kunnen de verschillende manieren van drogen zeer uiteenlopend zijn.

De meest voorkomende manier van drogen is, zoals bij de droogtrommel, een oververhitte luchtstroom over de transportband te laten lopen. Deze lucht wordt verhit door de verbranding van olie of gas. Het verhitten van de lucht via een elektrische component zou economisch niet haalbaar zijn, aangezien de benodigde temperaturen en debieten niet efficiënt te realiseren zijn. Vervolgens zijn er ook nog systemen die werken op infrarood. Hier hangen er infrarood emitters boven de transportband.

Omdat water zeer goed infraroodlicht absorbeert zal tijdens intense infraroodbestraling dit water ook verdampen.

Hoewel de droogtunnel een veel gebruikt systeem is, heeft het toch een aantal beperkingen. Als eerste moet de droogtunnel enorm lang zijn om alles voldoende te drogen. Om dit probleem te omzeilen kan men de afgelegde afstand van de transportband binnen in de droogtunnel vergroten. Hiervoor zijn verschillende oplossingen. Het is mogelijk om de transportband in een zigzag beweging de laten lopen. Elders kan men ook de transportband laten terugkeren zodat het materiaal een tweede, derde, vierde,... keer de droogtunnel doorloopt.

Het tweede probleem is dat het materiaal altijd stil ligt op de transportband. Dit betekent dat enkel de bovenliggende zijde in aanraking komt met de oververhitte lucht. Hierdoor zal de onderkant niet goed en niet voldoende drogen.



Figuur 41: Een parallelle droogtunnel

Ten slotte kunnen grote voorwerpen makkelijk een blokkade veroorzaken in de droogtunnel. Zulke opstoppen zijn niet alleen kostelijk omdat er mogelijk schade optreedt aan de machine. Omdat de gehele drooglijn moet worden stopgezet om de blokkade op te lossen, is er ook een grote “heropstart” kost. De tijd nodig om de machine te laten afkoelen om veilig te werken is ook verloren productietijd. Achteraf zal men de machine eerst terug moeten opstarten en opwarmen vooraleer men weer kan drogen.[39]

2.4.3 Drogen in openlucht

Het drogen in openlucht is uiteraard de meest simpele manier om materiaal te laten drogen. Het is heel eenvoudig om grote hoeveelheden tegelijkertijd te laten drogen op een beperkte oppervlakte zolang het materiaal regelmatig omgewoeld wordt.

Indien men droogt in openlucht is men volledig afhankelijk van het weer. Bij neerslag is niet alleen het drogen onmogelijk, het materiaal wordt ook nog eens extra nat. Voor dit probleem kan men wel een oplossing voorzien. Als het mogelijk is het materiaal te overdekken heeft neerslag weinig tot geen invloed.

Neerslag is niet het enige probleem bij het drogen in openlucht. Indien de luchtvochtigheid stijgt, zal de efficiëntie van het drogen dalen. Dit is een belangrijk probleem waar in openlucht geen oplossing voor is.

Het onaangename gevolg van drogen in openlucht is de geur die vrij komt. Zeker als men materiaal wil drogen dat veel organisch afval bevat, zal er geuroverlast zijn. Dit is niet alleen vervelend voor de arbeiders, maar ook voor omwonende mensen.

Afhankelijk van de windsnelheid kan deze geur zich ver verspreiden.

2.4.4 Absorberende stoffen

Het vocht uit materiaal halen kan ook met behulp van absorberende stoffen. De twee meest voorkomende zijn silica gel (Figuur 42) en lithium chloride. Het gebruik van beide stoffen is bijna identiek. De absorberende stoffen worden gemengd in het te ontvochtigen materiaal. Door een constante beweging en menging met behulp van een mengtrommel wordt het vocht gelijkmatig opgenomen. Na het droogproces is het heel eenvoudig om de silica gel korrels te scheiden. Deze korrels groeien namelijk gelijkmatig en kunnen daarom afgezeefd worden. Daarna is het mogelijk om de silica gel te regenereren om deze steeds opnieuw te gebruiken. De regeneratie kan op verschillende manieren gebeuren afhankelijk van de exacte samenstelling van de korrels. Bij de meest eenvoudige vorm, SiO_2 , volstaat het om de korrels te verwarmen tot 120°C gedurende 2 uur om ze te regenereren. [40][41] [42]



Figuur 42: Silica gel korrels

Zoals bij de silica gel wordt lithium chloride ook gemengd met het te ontvochtigen materiaal. Hierna verloopt het proces van lithium chloride iets anders. Deze stof is in normale omstandigheden een vaste stof. Maar als het meer water opneemt door een vochtigere omgeving, ondergaat lithium chloride een faseverandering van vast naar vloeibaar. Dit vloeibare lithium chloride verliest echter niet zijn water absorberende eigenschappen. Het water- lithium chloride mengsel heeft een lagere dampdruk dan verzadigd water bij dezelfde temperatuur. Lithium chloride is dus zowel een vast als vloeibaar absorbent. Het scheiden van lithium chloride van het materiaal is een zeer moeilijk proces aangezien het ofwel in poedervorm of vloeibaar is. Ook voor de regeneratie van lithium chloride is er een complexe infrastructuur nodig. [43][44] [45]

2.4.5 Lage temperatuur drogen

Aangezien het conventioneel drogen met een droogtrommel of droogtunnel zeer veel energie kost heeft men een nieuw systeem bedacht om dit energieverbruik te doen dalen. Het te drogen materiaal ligt in een trommel of afgesloten ruimte. Deze moet zeer goed geïsoleerd zijn om zo weinig mogelijk energieverlies te hebben. Om het materiaal in beweging te houden gebruikt men een ronddraaiende trommel of een mengsysteem. Door het gebruik van relatief lage temperaturen, 65°C - 85°C, en lange droogtijden, 8h – 10h, kan men het energieverbruik doen dalen. Deze lage temperaturen zijn haalbaar met een warmtepomp. Als men het droegoppervlak groot genoeg maakt is het ook mogelijk om een continue, dag en nacht, doorstroom van materiaal te krijgen.

Door het biologisch afbreken van organisch afval komt er ook veel energie in de vorm van warmte vrij. Dus als het te drogen afval veel organische componenten bevat, is het ook mogelijk om deze vrijgekomen warmte te gebruiken voor het drogen van de resterende niet-organische materialen. Deze warmterecuperatie noemt men biologisch drogen. [46]

3 Testopstelling

Tijdens de hele periode waarin de masterproef tot stand kwam, zijn er op de site van Remo een aantal testopgravingen gedaan. (Figuur 43 – 53) Deze testen waren nodig om exact te bepalen welke soorten materialen er zich in de opslagplaatsen bevinden. Van de meer recente opslagplaatsen zijn deze gegevens bekend maar van de oudere opslagplaatsen niet. Het zijn net deze oudere opslagplaatsen die belangrijk zijn voor het *enhanced landfill mining* idee. Dit komt omdat er 20 tot 30 jaar geleden nog niet zo veel controle was op wat men precies allemaal in zo een afvalsopslagplaats dumpte en er dus nog veel herbruikbare materialen in zitten.



Figuur 44: Opgravingen tijdens test



Figuur 43: Testopstelling: opgravingen en trommelzeef

Om de samenstelling van het afval op de oudere opslagplaatsen te kennen heeft Remo het materiaal uit de testopgravingen gesorteerd en dit zowel op basis van grootte als op basis van materiaalsoort. De scheiding op basis van grootte is van belang om eventuele toekomstige machines goed te kunnen dimensioneren. Ook het kennen van de materiaalsoort is belangrijk. Dit betekent, dat indien men een aanzienlijke hoeveelheid van een bepaald materiaal met een bepaalde grootte vindt tijdens de testopgravingen, dit een grote invloed zal hebben op het uiteindelijk ontwerp van bepaalde machines. Dat kan zowel invloed hebben op de volgorde de verschillende processen, als op de behandelingsduur, de grootte van de machine, de doorvoersnelheid, behandelings Temperaturen, het energieverbruik, enz.

3.1 Testinstallatie

De gebruikte testtrommelzeef werd ingezet om fracties te realiseren van verschillende grootte: groter dan 80mm, tussen 80mm en 40mm, tussen 40mm en 10mm en alles kleiner dan 10mm. Het belang van het scheiden in verschillende fracties heeft vooral te maken met de eventuele scheiding op basis van densiteit die later in het proces kan plaatsvinden. Scheiding op basis van densiteit zal namelijk veel beter kunnen verlopen als de stukgrootte gelijkaardig is.



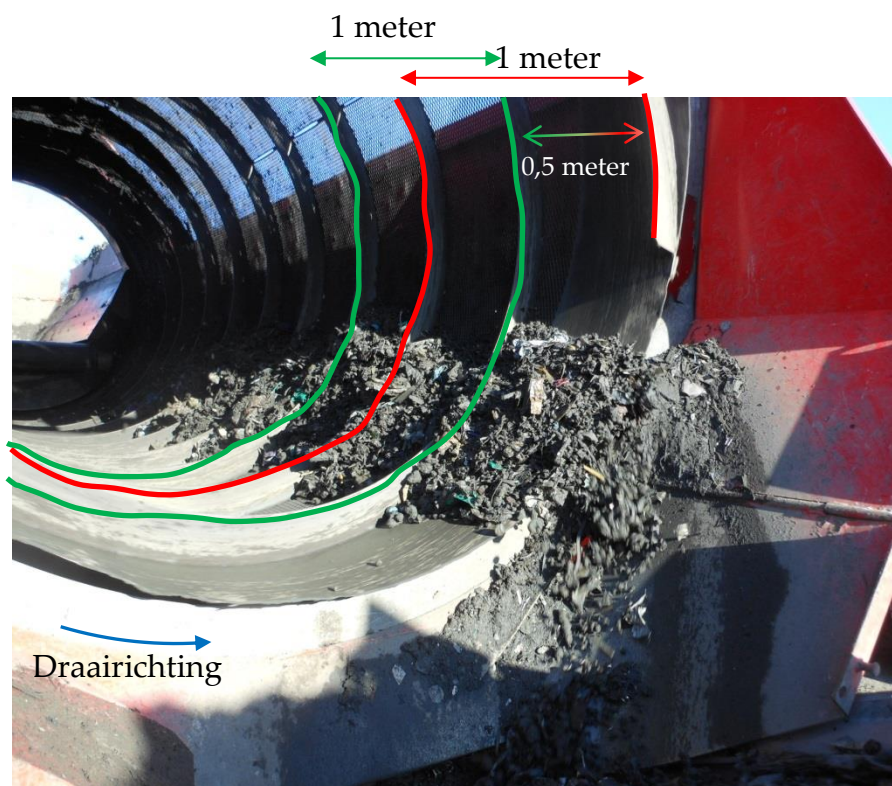
Figuur 45: Verwisselen trommel met kleinere zeefopeningen

De moduleerbare opstelling van de testtrommelzeef maakte het mogelijk om trommels met verschillende zeefgrootte in te zetten en zo telkens een andere fractie te realiseren. In Figuur 45 hierboven kan men zien hoe de trommel met 80mm openingen vervangen wordt door een trommel met 40mm openingen. Dankzij het ontwerp van de testinstallatie is het zeer eenvoudig om een trommel te vervangen door een trommel met kleinere openingen. Aangezien de aandrijfketting rondom de trommel zit, volstaat het om die van de trommel te ontkoppelen. Daarna kan men de trommel er met een kraan of graafmachine verticaal uit de installatie halen.

De gebruikte trommelzeef werd gehuurd bij het Belgische bedrijf Smet [47]. De producent van de mobiele trommelzeef is een Duits bedrijf genaamd Terra Select, waar de trommelzeef de productnaam T6 krijgt [48]. Op de site van de producent zijn ook de exacte technische gegevens van de testinstallatie te vinden. De totale lengte van de trommel is 5,5 meter, samen met een diameter van 2,2 meter geeft dit een totaal effectief zeefoppervlak van 33m². De 'hopper' ofwel toevoerbak heeft een totale inhoud van 6m³. Deze hopper moet men uiteraard constant bijvullen. Omdat de hopper eigenlijk een trilplaat is die onder een kleine hoek geplaatst is, zal die ervoor zorgen dat het te zeven materiaal niet in bulk in de trommel terechtkomt. Uiteindelijk heeft deze testinstallatie een maximaal doorvoerdebiet van 150m³/h. Dit is echter een theoretisch maximum omdat de efficiëntie van de scheiding licht zal afnemen naarmate de doorvoersnelheid stijgt. De kleine fracties hebben letterlijk niet genoeg tijd om door de openingen van de trommelzeef te vallen vanwege een te hoge draaisnelheid.

Het grote voordeel van deze testinstallatie is dat deze volledig mobiel is. Er is geen externe aansluiting tot het elektrisch net nodig. De testtrommelzeef beschikt over een dieselgenerator die de *onboard* elektrische motoren voorziet van het nodige vermogen. De generator is een 90kW Perkins module met een 300 liter brandstoftank.

De eenvoudige trommelzeef heeft een eenvoudig en conventioneel design. Met behulp van twee spiraalvormige schotten beweegt het materiaal zich door de trommel. Deze schotten staan op 180° van elkaar en hebben beide een spoed van 1 meter. Dit betekent dat de uiteindelijke afstand tussen twee schotten maar 0,5 meter is. Dat zorgt ervoor dat het materiaal 1 meter verschuift per rotatie van de trommel, en dat de verdeling van het materiaal over de hele lengte van de trommel optimaal is. In onderstaande Figuur 46 kan men de trommel in beweging zien en ziet men hoe het materiaal verdeeld zit tussen de twee spiralen. De twee afzonderlijke spiralen samen met de draaibeweging zijn aangebracht op de figuur. Door het gebruik van twee spiralen zal het materiaal niet meer met 100% van het totale zeefoppervlak in contact komen, dit wordt namelijk gereduceerd naar 50%. Een probleem is dit echter niet omdat het materiaal in de lengterichting nog steeds evenveel in contact komt met de trommel als moesten er geen spiralen zijn. Er is dus geen verlies van scheidingscapaciteit, enkel een betere voortstuwing van het materiaal.



Figuur 46: Beweging en werking van de schotten in de trommel.

Als het materiaal gesorteerd is moet het uiteraard ook uit de sorteermachine gehaald worden. Hier zijn verschillende manieren voor. Indien het een vaste opstelling was zou het gesorteerde materiaal opgevangen worden in verschillende bekkens om later getransporteerd te worden. Maar omdat we hier een mobiele testinstallatie hebben, kan men geen vaste verzamelplaatsen rond de trommelzeef voorzien. Daarom wordt het gesorteerde materiaal via transportbanden, die onder een hoek staan, afgevoerd. Het materiaal laat men dan gewoon op de grond vallen om heuveltjes/hopen te vormen die later worden opgeschept en vervoerd, of de transportbanden staan rechtstreeks onder aparte containers. Op onderstaande Figuur 47 [48] kunnen we de werking en betekenis van de transportbanden zien. De fracties die door de trommelzeef vallen worden onderaan de trommel opgevangen en door een transportband, die meestal bijna loodrecht op de machine staat, afgevoerd. De fractie die te groot is komt uiteindelijk, aan het einde van de trommel via een trechter op een transportband terecht, die op zijn beurt de grote fractie af te voeren. Deze transportband staat meestal in het verlengde van de machine.



Figuur 47: Testopstelling met verdeling grote en kleine fractie

3.2 Testresultaten

De verkregen testresultaten zijn belangrijk voor het ontwerpproces van mogelijke machines. Deze resultaten zullen voor een stuk belangrijke eisen worden waaraan zeker aan voldaan moet worden om een goede werking van de machine te verzekeren. Ook de efficiëntie van de machine kan verminderen indien geen rekening wordt gehouden met deze testresultaten.

Allereerst is het belangrijk te weten welke eigenschappen het materiaal heeft dat we willen opgraven en door de machine willen sturen. Omdat de afvalopslagplaats enkel langs de zijkanten afgeschermd is met een kunststof folie, is het dus evident dat regenwater nog steeds het materiaal kan bereiken. Hoewel deze hoeveelheid al beperkt wordt door de bovenop groeiende vegetatie, is het opgegraven materiaal toch nog zeer vochtig. Uit een aantal testen is gebleken dat het materiaal in de opslagplaatsen een gewichtspercentage van 40% aan water bevat.

Het bepalen van dit vochtgehalte is belangrijk voor een proces dat volgt op deze masterproef, maar hier niet uitvoerig behandeld wordt. Zoals eerder vermeld in Hoofdstuk 1 zal een geschikt gedeelte van het opgegraven materiaal gebruikt worden voor de productie van waterstofgas met behulp van een plasma-installatie. Het materiaal dat men hiervoor wilt gebruiken mag maar een gewichtspercentage van 20% water bevatten. Dit betekent dus dat het opgegraven materiaal uit de opslagplaats veel te vochtig is en eerst gedroogd zal moeten worden om dat gewichtspercentage van 20% water te kunnen halen.

Een ander nadeel van de relatief hoge vochtigheid werd ondervonden tijdens het zeven van de testopgravingen. Het zeven op 80mm ging zonder problemen en zou eigenlijk kunnen gebeuren zonder dat het materiaal gedroogd wordt. Eén stap verder, bij het afzeven op 40mm, kon men vaststellen dat dit ook relatief goed ging. De fracties konden nog steeds goed van elkaar gescheiden worden, ondanks dat het materiaal makkelijker aan elkaar bleef kleven. Eens men echter fracties van 10mm direct wil afzeven zonder te drogen, komen de grootste problemen tevoorschijn. Door de kleine afmetingen van het materiaal heeft men meestal te maken met grond en zand. Deze natte grond vormt, samen met het aanwezige papieren bolletjes, die tijdens het zeven over het zeefoppervlak rollen. Deze bolletjes worden makkelijk groter dan 10mm en kunnen dus niet door de zeef vallen. Tevens kunnen ze de gaten doen verstopen, waardoor het werkend zeefoppervlak daalt en dus ook de efficiëntie van de machine. (Figuur 48 – 50)

Zoals daarnet vermeld, hebben we bij de 10mm fractie vooral te maken met zand en grond. Deze materialen hebben een redelijk hoge densiteit. Uit de testen kunnen we ook afleiden dat deze 10mm fractie tot 60% van het totaal uitgegraven gewicht is. De 10mm fractie is dus een zeer significant gegeven voor zowel het te verwerken gewicht als de problemen die zich voordoen tijdens het zeven.

Verder werd het tijdens de testen duidelijk dat ongeveer 1 m³ afval gelijk stond aan 1000 kg. Deze associatie wordt verder in het hele masterproef gebruikt om bepaalde dingen uit te rekenen.



Figuur 48: Plus 80mm fractie



Figuur 50: De 80mm tot 10mm fractie



Figuur 49: Min 10mm fractie

Verder heeft men een deel van de testopgravingen via *handpicking* gesorteerd in de verschillende materiaalsoorten. Het zijn de resultaten van deze sortering die Remo gebuikt om te bepalen uit welke materiaalsoorten de afvalopslag bestaat, en of het rendabel is om verder te gaan op de plaats van de testopgraving. In onderstaande Figuur 52, 52 en 53 kan men de verschillende soorten materialen zien eens ze gescheiden zijn. Hierbij moet wel vermeld worden dat het voor Group Machiels geen doel is om de exacte scheiding terplekke te doen. Een voorscheiding op basis van densiteit is voor Group Machiels voldoende. Het exact sorteren van het materiaal, zou men operationeel gaan werken, laten uitvoeren door een derde partij.



Figuur 52: Na exacte sortering: zand, papier, karton, folies en stukjes hout



Figuur 51: Na exacte sortering: glas en plastic



Figuur 53: Na exacte sortering: stenen en metaal

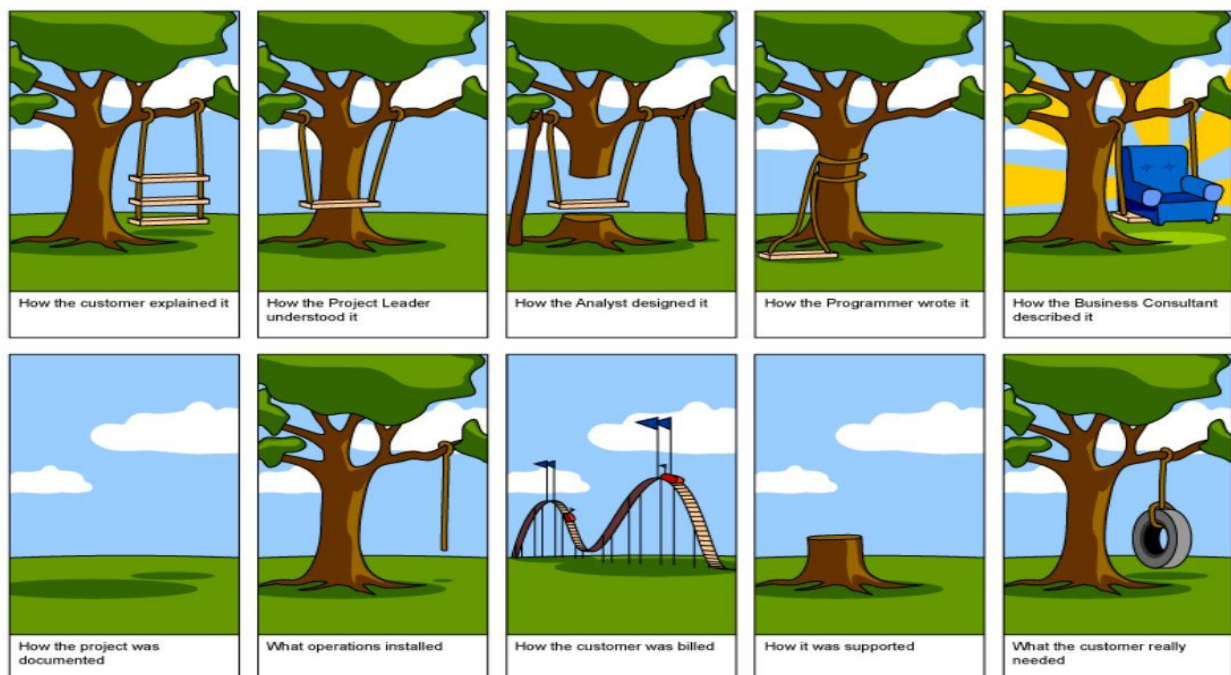
Als laatste opmerking heeft men proefondervindelijk kunnen vaststellen dat het niet noodzakelijk is dat de metalen deeltjes verdeeld worden op basis van grootte. Voor Group Machiels komt het er enkel op aan de ferrometalen te verwijderen. Een metaalverwijderingsinstallatie op basis van magneten kan metalen van elke vorm en grootte uit het afval verwijderen. Dankzij de testen is er aan het licht gekomen dat men moet oppassen dat de metalen niet overdadig met zand bedekt zijn. Er zou dan een grotere magnetische aantrekkingskracht nodig zijn om datzelfde stuk metaal te verwijderen. Indien de aanwezige magneten niet sterk genoeg zijn, zal dit metalen onderdeel dan ook niet verwijderd worden. Tevens moet er een oplossing gezocht worden om het metaal dat onder een groter stuk ander materiaal ligt (vb. plastic folie), te verwijderen. Ook dit probleem doet de nood aan magneten met een sterkere magnetische aantrekkingskracht stijgen.

4 Design van de installatie

Vertrekkend van het vooronderzoek dat gebeurd is met de literatuurstudie, kan er met een goed inzicht in bestaande technieken overgegaan worden naar het effectieve ontwerpen van de installatie.

Elk ontwerp begint bij het verzamelen en begrijpen van de wensen en eisen van de opdrachtgever. Een goede feedback van de externe promotor is de sleutel tot een goed begin. Hierdoor zijn alle betrokken personen van de zelfde situatieveranderingen op de hoogte. Dankzij het goede contact is er ook niet in het wilde weg gezocht naar een ontwerp. De situatie weergegeven in Figuur 54 is gelukkig vermeden gebleven.

Het was zeer belangrijk om in het begin van de masterproef intensief samen te komen met de promotor van het bedrijf. Op wekelijkse basis werd er overlegd om ervoor te zorgen dat de wensen en eisen van het bedrijf duidelijk waren. Bij een foute interpretatie van wat Group Machiels in gedachten had, zou het project immers nooit kunnen voldoen aan wat gewenst is.



Figuur 54: *Tree swing design*

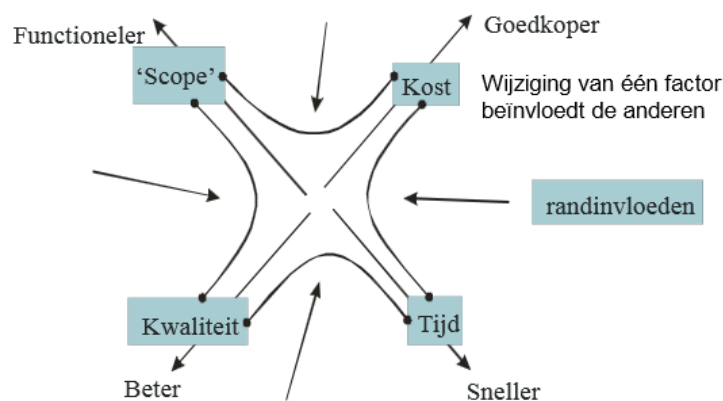
Voor het ontwerpen van de installatie is er ook zeer methodisch te werk gegaan tijdens het ontwerpproces, zodat er niet te snel naar oplossingen werd gegrepen; een goed overzicht ontstaat van de ontwerpwerkzaamheden, en de kans verkleint dat belangrijke zaken over het hoofd worden gezien. Zo lukte het om op een eenvoudige en verantwoorde manier beslissingen te nemen. [49]

Er is getracht om een zo goed mogelijke oplossing aan te bieden om aan de eisen en behoeften te voldoen van Group Machiels, met behulp van kennis en beschikbare middelen. Aangezien het bij deze inrichtingen gaat om geheel nieuwe ontwerpen, waarvan er nog geen voorbeelden voorhanden zijn, kan er moeilijker teruggevallen worden op ervaring met soortgelijke ontwerpen. Hierdoor is het zeer belangrijk methodisch te ontwerpen.

Heel dit project valt ook binnen de milieu-, energie- en grondstoffenproblematiek. Als einddoel is deze inrichting bedoeld om hierin verbetering te brengen. Het is dus ook zeer belangrijk, dat er tijdens het ontwerpen van de machine, rekening gehouden wordt met deze problematiek.

Door het richten op een optimale levensduur van de installatie, waar op het einde via recyclage een groot deel van de materialen kunnen teruggewonnen worden, en te ontwerpen op een minimaal materiaalverbruik, wordt er bijgedragen aan een duurzaam grondstofgebruik.

Deze problematiek zal onvermijdelijk een invloed hebben op het uiteindelijk design van het systeem. Een goede verdeling van de tijd gedurende heel het project is ook van essentieel belang om zo mogelijke tijdsnood zo goed mogelijk te vermijden. Hiervoor werd een tijdlijn opgesteld waaraan getracht werd zo goed mogelijk te houden. De beperkte tijd die echter beschikbaar is gesteld zal wel een invloed hebben op het uiteindelijke design, , immers alle factoren, zoals functionaliteit , kost en kwaliteit, zijn tijdsafhankelijk van elkaar (Figuur 55).[50]



Figuur 55: Verhouding functionaliteit, kost, kwaliteit en tijd.

4.1 Uitbreiding probleemstelling, doelstelling en situering

Het doel dat we met de te ontwerpen technische inrichting nastreven is het voldoen van de geconstateerde behoefte van Group Machiels. Daarom is er eerst uitvoerig vergaderd om deze behoeften te constateren. Dat was van uiterst belang, niet enkel voor het technisch succes van het ontwerp, maar ook dat het een eindsituatie wordt die voldoet aan de verwachtingen van Group Machiels.

Na de veelvuldige vergaderingen die plaatsvonden, is de kern van het ontwerp vastgelegd. De ontwerpdoelstelling kan als volgt worden geformuleerd. Oud afval dat jaren geleden werd opgeslagen in zeer grote afvalstortplaatsen, wordt opnieuw opgegraven ter valorisatie en zal in een latere stap gebruikt worden voor het extraheren van grondstoffen en syn gas. Het syn gas kan verder verwerkt worden tot gassen zoals waterstof of methaan. Echter zijn niet alle materialen geschikt voor direct recyclage of om syn gas te maken. In een afvalopslagplaats zijn onder anderen organische materialen en minerale materialen gemengd. Vooraleer materialen de kwaliteit te geven voor recyclage of voor thermische verwerking tot syn gas is eerst sortering nodig (voorsortering). Een machine moet ontworpen worden die deze voorsortering realiseert. (Figuur 56)



Figuur 56: Volgorde sortering

Het is niet de bedoeling om een conventionele scheidingsinstallatie te gaan optimaliseren. Het ontwerp dat hier gemaakt zal worden, zal een combinatie van twee of meerdere conventionele scheidingsmethoden moeten zijn.

Om een duidelijk afgebakend werkingsgebied te creëren zijn er vanuit Group Machiels vier scheidingsmethoden opgelegd. Deze methoden omvatten de meest conventionele scheidingssystemen en worden wereldwijd gebruikt. De vier opgelegde methoden zijn drogen, zeven, scheiden op densiteit en verwijderen van ferrometalen. Als voorbeeld kunnen we stellen dat het drogen tijdens het zeven zo een combinatie vertegenwoordigt. Uiteraard zijn er meerdere processen die combineerbaar zijn.

Als tweede punt had Group Machiels graag dat de machine deels mobiel is, wat wil zeggen dat de machine indien nodig verplaatsbaar moet zijn, maar dat praktisch al het scheidingswerk gebeurt als de machine stil staat. Dit is nodig omdat de machine dicht bij de afgravingen zal staan. Uiteraard schuiven deze afgravingen regelmatig op. Kleine afstanden kunnen met transportbanden worden overbrugd maar een langere afstand eist dat de volledige scheidingsinstallatie mee verhuist.

Dit is ook één van de redenen waarom het zo interessant is om met één machine meerdere processen uit te voeren. Eén machine verplaatsen is veel gemakkelijker dan een hele trein te moeten verplaatsen. Een ander voordeel van het combineren van stappen is energie: minder motoren, minder emissies, minder geluid en minder plaats innamen. In alle processen van zeven, drogen, metaal scheiden moet materiaal opgeworpen of verspreid worden om de stukken zoveel mogelijk los te maken van elkaar. Het materiaal in beweging brengen kost telkens energie. In een machine die verschillende fysische processen combineert moet het materiaal maar 1 keer in beweging worden gebracht en minder keren losgeschud worden.

Gezien de huidige economische laagconjunctuur is het de bedoeling dat we de kost zo laag mogelijk houden. Om de machine interessant te maken, niet alleen voor Group Machiels, is het belangrijk dat het ontwerp ook geen grotere financiële kost in aankoop is dan de verschillende processen apart.

Met de situering wordt dieper ingegaan over waar de installatie zal gebruikt worden. Als gevolg van de situatie, kan de oplossing van het probleem heel anders worden. Immers is dit de begintoestand, en komen er verschillende factoren tevoorschijn waar rekening mee gehouden moet worden, afhankelijk van de locatie waar de installatie zich zal bevinden.



Figuur 57: Luchtfoto Remo

Dit project zal zich situeren binnen de site van Remo milieubeer in Houthalen-Helchteren (Figuur 57). Dit is één van de grootste afvalopslagplaatsen van België met meer dan 18 miljoen ton verspreid over meer dan 140 hectaren. Het is ook een gebied dat eerder wat afgelegen ligt om voor de hand liggende redenen. Transport tussen het opgegraven afval op die site en de installatie is onvermijdelijk, maar het is zeer gewenst dit zo minimaal mogelijk te houden. Om deze reden zal de installatie zich binnen die site moeten bevinden.

Om transporten binnen de site zoveel als mogelijk te beperken en voor een vlotte verwerking is het een optie om de eerste stappen van de sortering zo dicht mogelijk bij het punt van ontgraven te realiseren. Omdat dit continu veranderd is de inzet van mobiele installaties gewenst.

4.2 Eisen en beperkingen

Uitgaande van de doelstellingen die in overleg zijn met Group Machiels zijn besproken wordt het eisenpakket opgesteld (Tabel 1). Een aantal eisen waren al door de opdrachtgever geformuleerd. Op deze manier krijgen wij bruikbare toetsstenen voor evaluaties en te nemen beslissingen tijdens het ontwerpen van de technische inrichting. Eisen en beperkingen kunnen gezien worden als een nadere uitwerking van het doel.

Gedurende het ontwerpen zullen deze eisen echter nog aangevuld worden. Een eisenpakket is immers nooit af en wordt voortdurend aangevuld wanneer er nieuwe informatie ter beschikking is of wanneer er, als gevolg van onvoorziene stappen blijkt dat eisen ontbreken. Voortdurend zullen ook de eenmaal gestelde eisen weer kunnen afgezwakt of verworpen worden als ze te streng of niet meer van toepassing zijn. Er is getracht deze eisen zo goed mogelijk te kwantificeren.

Algemeen kan gesteld worden dat er een grote vrijheid was in dit project naar ontwerpen toe. Er was als het ware "*carte blanche*" met slechts zeer weinig eisen en beperkingen uitgaande van de opdrachtgever.

De grote vrijheid die gegeven werd vanuit Group Machiels, gaf ons de mogelijkheid om zeer creatief te werk te gaan in dit project. Immers is het zo dat, hoe meer eisen en beperkingen er zijn die vastliggen, hoe beperkter men kan omgaan in het ontwerpen. Deze vrijheid zal vooral duidelijk worden in het aantal verschillende mogelijkheden die teruggevonden kunnen worden onder de basisschetsen en concepten. Uiteraard zijn er een paar eisen waaraan de machine zeker moet voldoen. Dit zijn resultaten die Group Machiels zeker wil zien gerealiseerd worden. Ze zijn nodig om de hele masterproef in realiteit rendabel te maken.

Het eerste punt waar zeker aan voldaan moet zijn, is dat er genoeg afval verwerkt kan worden. Het debiet moet dus hoog genoeg zijn om voldoende rendabel te zijn. Deze waarde heeft Group Machiels vooral op eigen ervaring gebaseerd. De ontworpen machine moet minstens 50m³ afval per uur kunnen verwerken.

Als tweede eis mocht er ook geen vorm van *shredding* optreden in het hele proces, dit laatste zou immers te veel afdoen aan de waarde van individuele stukken materiaal. Verder waren er ook nog minder belangrijke eisen die vermeld zijn in tabel 1.

Beperkingen zijn niet enkel opgelegd door de opdracht gever, zo zijn er bepaalde beperkingen als gevolg van de omstandigheden. Zo blijkt uit de testopstelling die gebruikt is om een initieel idee te krijgen van de compositie van de productiestroom dat dit een zeer grote hoeveelheid aan massaprocent aan water bevat. Dit heeft als gevolg dat het zeef proces niet idealiter verloopt. Er bestaat dus een noodzaak om te zorgen dat het materiaal eerst gedroogd wordt vooraleer te kunnen scheiden op grootte of densiteit.

De situering van de uitgravingen kan ook gezien worden als een beperking. Het is immers niet mogelijk de gevolgen hiervan zomaar te negeren. De installatie zal opgesteld moeten worden op de site van Remo. Het weer kan dus een vrij grote invloed hebben. Regen heeft een nadelig effect op de componenten van de machine met roest en andere factoren als gevolg, die de levensduur nadelig beïnvloeden. Deze invloeden lopen ook verder door naar de afvalstroom, zo zal regen een averechts effect hebben en het massaprocent van het vocht in de afvalstroom verhogen.

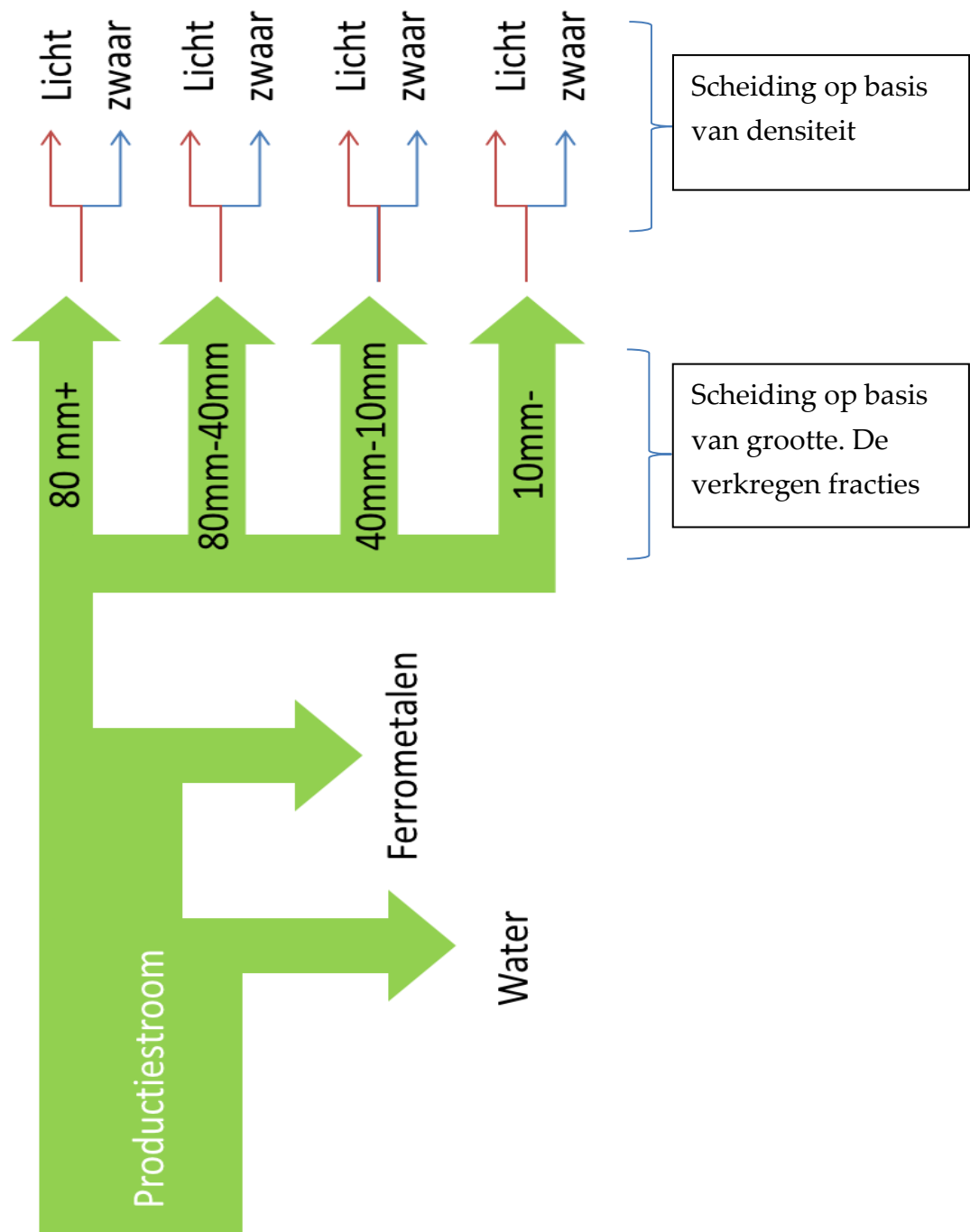
Al deze beperkingen zullen hun invloed hebben op de vrijheid van het project en de uiteindelijke uitwerking van het concept.

Doorvoer snelheid van 50 Ton / uur, aan een dichtheid van 1Ton / m ³ .
Semi--installatie, mogelijkheid tot verplaatsing 1 x per 3 a 4 weken. Geen vaste fundering.
Enkel ferrometalen, geen non-ferrometalen. Ferrometaal hoeft niet in fractiegrootte te worden opgedeeld.
Moet zowel huishoudafval als industrieel afval kunnen verwerken.
Combinatie van 2 of meer fysische processen.
Moet onregelmatige levering van afval kunnen verwerken. Bulldozer levert met 1 schop +/- 5m ³ .
Bediening zo eenvoudig mogelijk.
Onderhoudsarm.
Er moet gewerkt worden naar een budget van €700.000 a €800.000
Duurzaam
Vrije keuze in energie voorziening, liefst duurzaam
Scheiding op basis van grootte moet resulteren in 4 fracties: (gedaan vooral voor densiteit en verdere scheiding niet door onze machine) • 80+ mm • 40+ mm • 10+ mm • 10- mm
Geen <i>shredding</i> van het te sorteren materiaal.

Tabel 1: Eisenpakket

4.3 Algemeen overzicht

In het algemeen overzicht is het project voorgesteld als een keten van activiteiten die zullen leiden tot het uiteindelijke doel. Afgebeeld in een Sankey diagram Figuur 58, om zo een overzicht te krijgen van de vorm van het geheel project. Het laat snel en duidelijk zien wat het begintoestand is: een afvalstroom, die uiteindelijk als einddoel moet gescheiden worden in 4 fracties opgedeeld volgens hun densiteit.

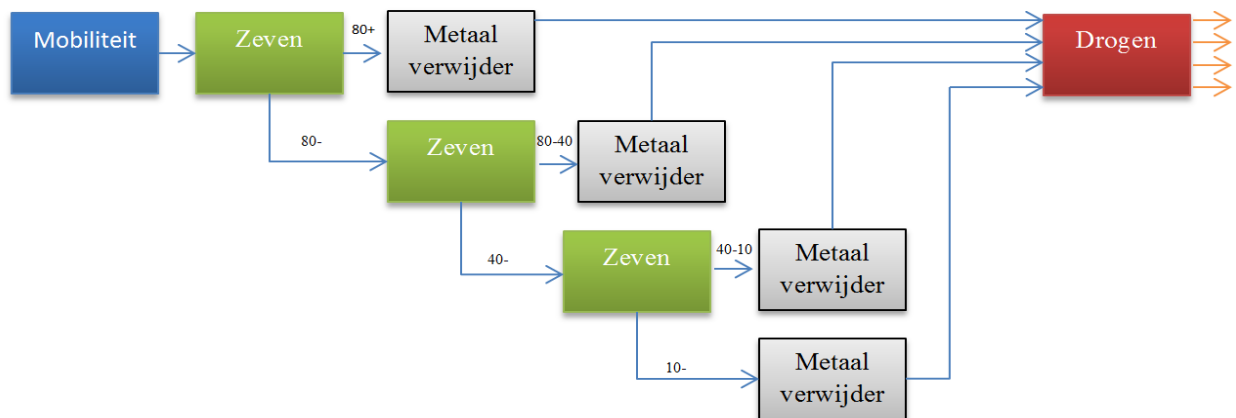


Figuur 58: Sanky diagram verloop sortering

4.4 Functieblokschema's

De functies van een technische installatie zijn de processen die plaats moeten vinden om het doel te bereiken. Deze functies worden afgeleid, door het analyseren van de problemen. Goede functies zijn vastgelegd door de goede definiëring van de problemen en doelstellingen.

Aangezien er meerdere functies vervuld moeten worden, zal er gebruik gemaakt worden van functieblokschema's (verder FB). Deze schema's laten toe om een duidelijk overzicht te krijgen over hoe het hele proces zal verlopen. Een eerste vorm van een dergelijk functieblokschema is te zien in figuur 59. Het is de weg waarlangs heel de productiestroom zal gaan van begin tot einddoel. Elke functie is een handeling of een behandeling die zal moeten uitgevoerd worden om de productiestroom tot een gewenste eindtoestand te krijgen.



Figuur 59: FB 1

Door te variëren met de functies kunnen meerdere varianten van functieblok schema's gecreëerd worden. Dit kan onder andere door het wijzigen van de volgorde, combineren van mogelijke functies of bepaalde functies opsplitsen in deelfuncties. Op deze manier kunnen er ideeën en mogelijke systemen tevoorschijn komen waar eerder nog niet aan gedacht werd. Hiermee vermijden we tunnelvisie waardoor er teveel gefocust wordt op één mogelijke oplossing.

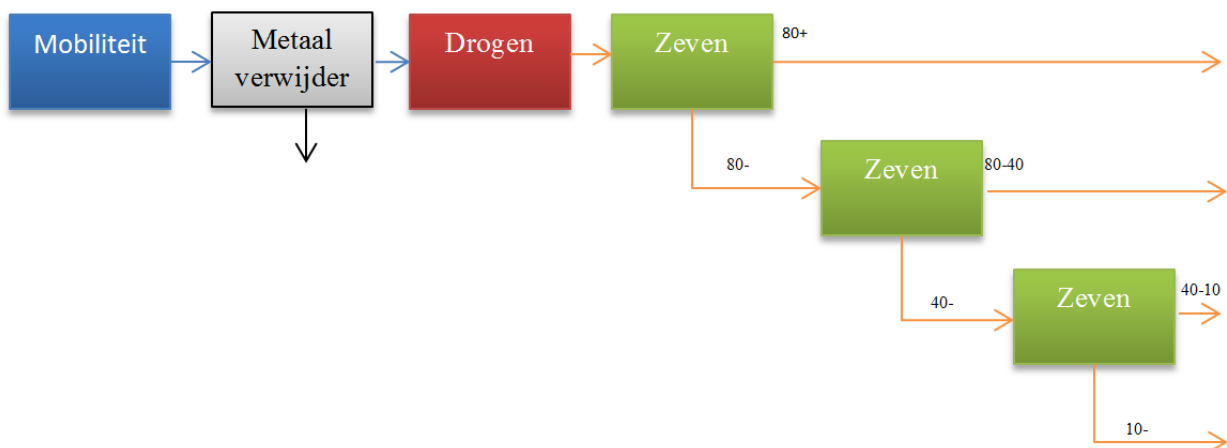
De functieblokken die terug gevonden kunnen worden in de functieblokschema's van dit project zijn de functie mobiliteit in het blauw, de functie scheiden op basis van ferromagnetische eigenschappen in het grijs, de functie drogen in het rood en de functie scheiden op basis van grootte in het groen (Figuur 60.) De kleur van de pijlen in de functieblokschema's geven de graad van droging weer. Blauw is niet gedroogd, oranje is licht gedroogd, en rood is een intensief gedroogde afvalstroom.



Figuur 60: De verschillende functies

4.4.1 Functieblokschema 2

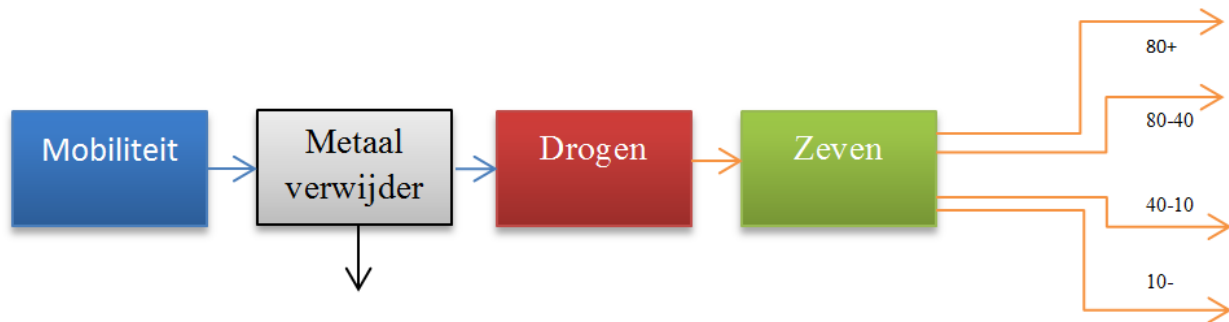
Een eerste lichte variant op het functieblokschema 1 is de mogelijkheid om het ferrometaal niet meer na elke zeefproces te scheiden maar dit toe te passen op de onbewerkte afvalstroom. Zolang dat het efficiënt verwijderen van het ferromagnetisch materiaal kan gegarandeerd blijven, is dit een mogelijke oplossing. In deze situatie zijn vier aparte metaalverwijderingsinstallaties gereduceerd tot één zoals afgebeeld in figuur 61. Op deze manier kan er een plaats- en kosten reductie gerealiseerd worden.



Figuur 61: FB 2

4.4.2 Functieblokschema 3

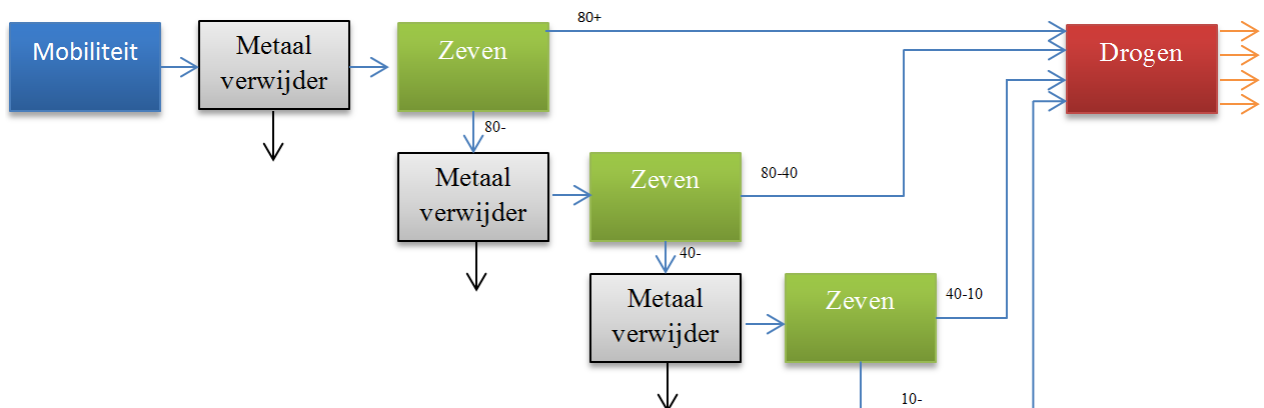
Uit de literatuurstudie is de gedachte ontstaan om het zeefproces niet meer in drie aparte zeefprocessen te realiseren, maar in de plaats daarvan gebruik te maken van één scheidingsmethode die dit in één maal realiseert. Zo zouden onder andere een driefvoudige trommelzeef, driefvoudige trilplaat, gyro scheider en *circular screen shifter* deze stap kunnen mogelijk maken. Elk van deze methodes kan één grote productiestroom opdelen in 4 verschillende fracties. (Figuur 62)



Figuur 62: FB 3

4.4.3 Functieblokschema 4

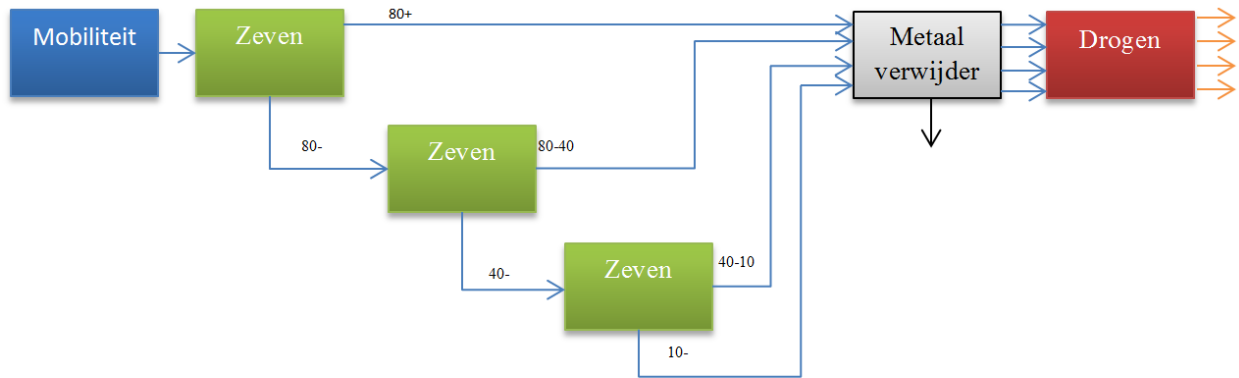
Functieblokschema 4 is opnieuw een lichte variant op het functieblokschema 1. In deze situatie verandert enkel het drogingsproces dat pas aan bod komt op het einde. De reden hiervoor is dat een groot deel van het materiaal dat zich in de productiestroom bevindt voornamelijk zand is. Dit zand zal zich door het zeefproces uiteindelijk in de 10mm- fractie bevinden. Deze grote hoeveelheid zand is eerder ongewenst en zal grotendeels niet verder gebruikt worden. Door het drogen op het einde te doen kan men selectief te werk gaan en bepalen hoeveel een bepaalde fractie moet gedroogd worden. Hierdoor kan de 10mm- fractie zeer beperkt gedroogd worden indien gewenst, met energiebesparing als gevolg. Figuur 63 stelt dit visueel voor.



Figuur 63: FB 4

4.4.4 Functieblokschema 5

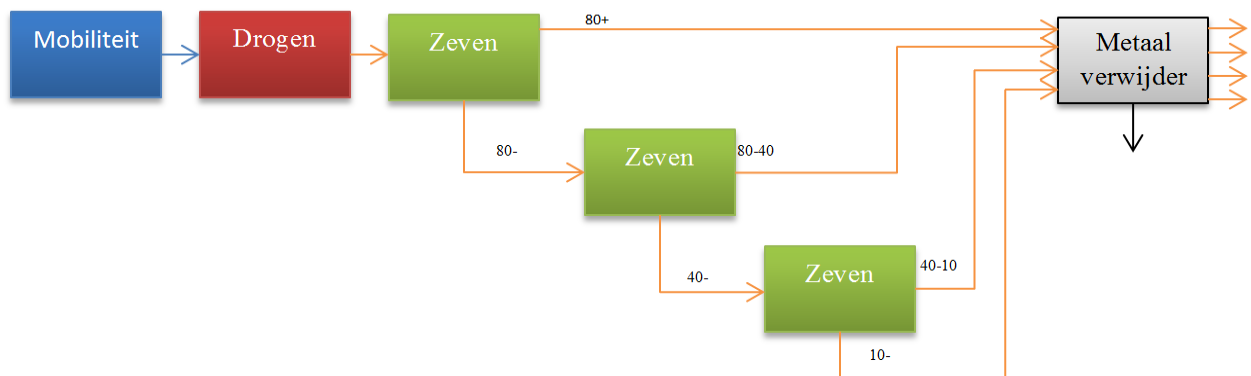
Verdergaand op functieblokschema 4 is functieblokschema 5 ontstaan. Het is immers zo dat er geen echte noodzaak bestaat dat de ferrometaal fractie ook opgedeeld is in bepaalde grootten. Het is dus mogelijk om het metaal van de 4 apart gezeefde fracties te verwijderen en gecombineerd af te voeren. Figuur 64 stelt dit visueel voor.



Figuur 64: FB 5

4.4.5 Functieblokschema 6

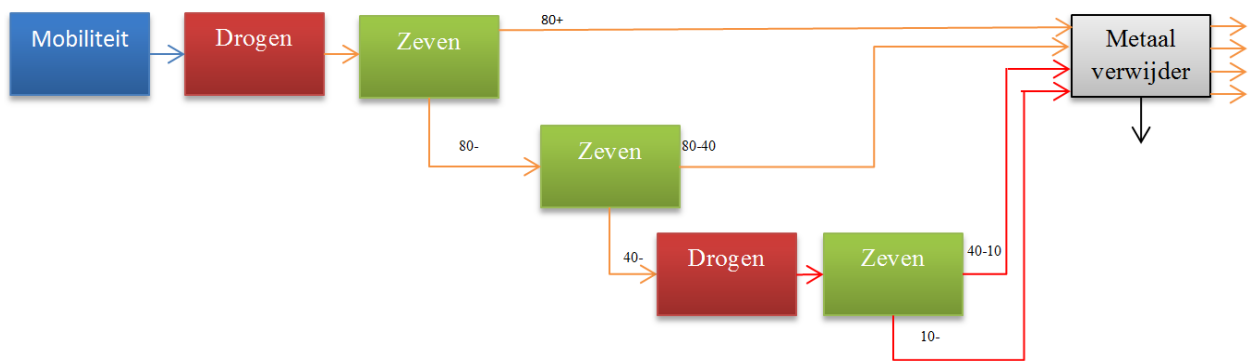
Variërend op functieblokschema 5 (Figuur 65) gaan we in functieblokschema 6 opnieuw als eerste stap de productiestroom drogen. De reden hiervoor is dat algemeen de productiestroom uit 40 massaprocent water bestaat dat nefast is voor de efficiënte zeefwerking. Dit bleek duidelijk uit de testopstelling. Als gevolg van het hoog percentage aan water in de productiestroom ontstaat er zeer veel samengeklitte stukken die zeer slecht afgezeefd worden zoals vermeld in hoofdstuk 3.2. Er gaat dus zeer veel materiaal mee met de 80mm+ fractie die daar niet thuis hoort.



Figuur 65: FB 6

4.4.6 Functieblokschema 7

In functieblokschema 7 wordt het hele droogproces iets anders aangepakt. In dit geval wordt er een voordroging gedaan en een tweede droging om specifiek de 40mm- fractie nog eens extra van drogen. Dit wordt gedaan naar aanleiding van de informatie gewonnen uit de testopstelling vermeld in hoofdstuk 3.2. Daar bleek immers dat voornamelijk de laatste zeef, die de fracties 40/10 en 10- realiseert, de afvalstroom slecht verwerkt kreeg. Door het opsplitsen van de droging kunnen we in de eerste stap een lichte vorm van droging realiseren. Het is immers niet nodig hier al een zware droging door te voeren. Daarna is er enkel een extra droging voorzien van de 40mm- fractie om zo het daarop volgende zeefproces goed te laten verlopen. Op deze manier kan er energie bespaard worden, door niet onnodig heel de productiestroom zwaar te drogen. Figuur 66 stelt dit visueel voor.

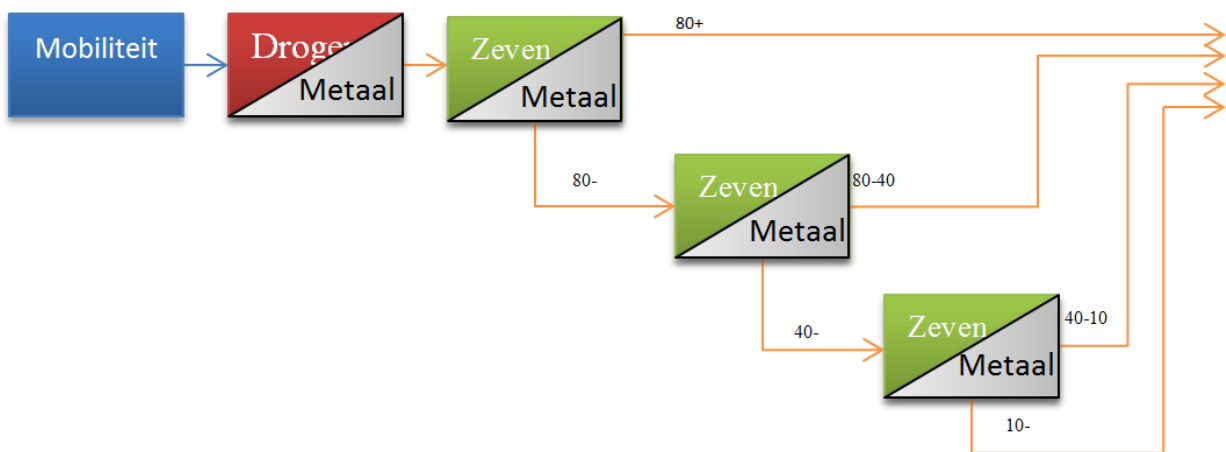


Figuur 66: FB 7

4.4.7 Functieblokschema 8

Functieblokschema 8 (Figuur 67) is in essentie geen nieuw functieblokschema. Het laat zien dat opeenvolgende functieblokken niet enkel apart moeten gezien worden maar ook gecombineerd kunnen worden om zo in één enkele stap meerdere functies te realiseren. Op deze manier kan men ook terugkijken naar vorig vermelde functieblokschema's en bepaalde opeenvolgende functieblokken als één stap aanzien.

In functieblokschema 8 maken we gebruik van deze mogelijkheid door het ferromagnetisch verwijderingsproces te integreren in het droogproces. In deze stap zullen tijdens het drogen van het materiaal tegelijk ook ferrometalen verwijderd worden. Gelijkaardig hieraan wordt ook het ferrometaal verwijderingsproces geïntegreerd in het zeefproces, om zo tijdens het zeefproces gelijklopend ook de ferrometalen te verwijderen.



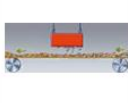
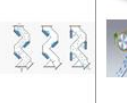
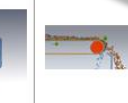
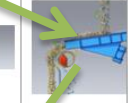
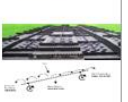
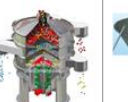
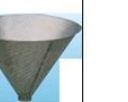
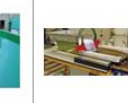
Figuur 67: FB 8

4.5 Morfologisch overzicht

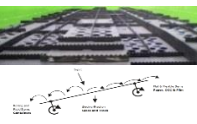
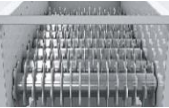
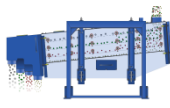
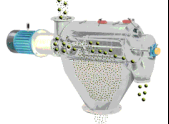
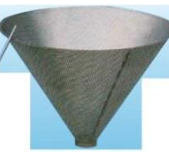
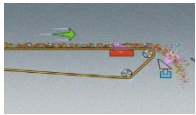
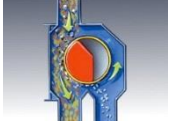
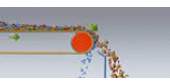
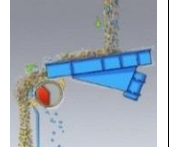
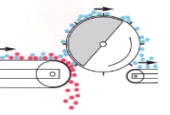
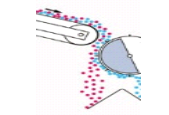
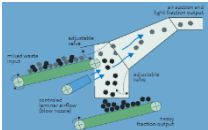
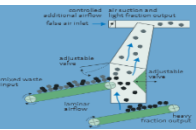
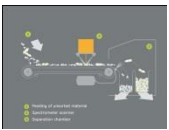
In de volgende stap gaat er gezocht worden naar bestaande systemen en processen zodat elke functie vervuld wordt. Op deze manier komen er ook minder voor de hand liggende, maar toch bruikbare mogelijkheden tevoorschijn. Voor het maken van goede keuzes en het analyseren worden de functies en hun fysische verschijnselen geordend in een morfologisch overzicht (Tabel 2, 3).

In de linker verticale kolom zijn de functies uitgezet, en de bijbehorende fysische verschijnselen staan horizontaal. Deze komen voornamelijk uit de informatie die vergaard is in de literatuurstudie. Zo worden nu alle mogelijke scheidingsmethoden overzichtelijk afgebeeld.

Het is nu mogelijk om combinaties te maken doorheen de functies. Deze functies zullen volgens de functieblokschema's verlopen wat resulteert in meerdere morfologische overzichten, waar enkel de functies verschoven zijn ten opzichte van elkaar. Uit deze morfologische overzichten kunnen dan structuurschetsen ontstaan, die mogelijk een reële oplossing kunnen zijn voor de technische installatie. Er zijn echter veel mogelijke combinaties die kunnen gemaakt worden. Uit deze alternatieve structuren zal dan een keuze gemaakt worden.

	Werkwijzen									
Functies	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Drogen										
	Droog trommel	Droog tunnel	Absorbtie stoffen	Lage temperatuur drogen	Drogen in openlucht					
Scheiden Van Ferro-metaal										
	Vaste blokmagneet	Wielmagneet	Bovenbandmagneet Dwarsopstelling	Cascade magneet systeem	Bovenbandmagneet Lijnschelling	Verticale trommelmagneet	Koprolmagneet	Onderliggende trommelmagneet	Opnemende trommelmagneet	Deflectie trommelmagneet
Scheiden op grootte										
	Trommelzeef	dubbele trommelzeef	ballistic separator	Disc Screen Separator	Trilplaat	3 mach trilplaat	gyro scheider	Centrifugaal scheider	circular screen separator	cone screen separator
Scheiden op densiteit										
	Blazende windshifter	Zuigende windshifter	Ballistische scheider	Sensor Scheider	Handpicking	Sink / float scheiders	Magnetische vloeistof scheider			

Tabel 2: Morfologisch overzicht FB 8

	Werkwijzen									
Funcities	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Scheiden op grootte										
	Trommelzeef	dubbele trommelzeef	ballistic separator	Disc Screen Separator	Trilplaat	3 maal trilplaat	gyro scheider	Centrifugaal scheider	circular screen separator	cone screen separator
Scheiden Van Ferro-metaal										
	Vaste blokmagneet	Wigmagneet	Bovenbandmagneet Dwaarsopstelling	Cascade magneet systeem	Bovenbandmagneet lijnopstelling	Verticale trommelmagneet	Koprolmagneet	Onderliggende trommelmagneet	Opnemende trommelmagneet	Deflectie trommelmagneet
Drogen										
	Droog trommel	Droog tunnel	Absorbtie stoffen	Lage temperatuur drogen	Drogen in openlucht					
Scheiden op densiteit										
	Blazende windshifter	Zuigende windshifter	Ballistische scheider	Sensor Scheider	Handpicking	Sink / float scheidings	Magnetische vloeistof scheider			

Tabel 3: Morfologisch overzicht FB 1

4.6 Brainstormen

Tijdens de brainstormsessies werd er getracht te zoeken naar verschillende mogelijke combinaties om functies te vervullen, zowel met behulp van bestaande technieken als nieuwe oplossingen voor de problemen. Door onderling te brainstormen kwamen er kwantitatief veel ideeën, met veel creatieve invallen. Het was bij deze stap van belang met zoveel mogelijke ideeën te komen, kwaliteit kwam hierbij op de tweede plaats. Als gevolg van deze methode werden er mogelijkheden bedacht die technisch niet haalbaar zijn, maar die voorlopig toch moesten aanvaard worden. Immers bestond de kans dat deze resulteerden in additionele ideeën die daar op verder bouwden, met vaak zeer creatief en tegelijk functioneel invallen. Met brainstormen vermeden we dat ideeën verloren gingen door te vroeg te concluderen dat bepaalde ideeën niet realistisch waren om mee verder te gaan.

Kennis is echter ook een belangrijk aspect tot het bekomen van ideeën. De combinatie van een goede literatuurstudie naar de bestaande technieken, die momenteel in deze industrie gebruikt worden, en de verworven kennis door de jaren heen in de schoolbanken, heeft hier veel bijgedragen tot het komen tot nuttige ideeën in de brainstormsessies.

In deze brainstormsessies werd er dus gebruik gemaakt van ervaring, kennis uit de literatuurstudie, morfologische overzichten en functieblokken, om te komen tot mogelijke technische inrichtingen, die een mogelijke oplossing bieden aan de problemen gesteld door de opdrachtgever.

Bij bepaalde voorlopige ideeën, zowel functioneel als niet-functioneel, die voortvloeiden uit de brainstormsessies, werd er ook iteratief op verder gedacht, om zo stap voor stap wijzigingen toe te passen en te komen tot betere oplossingen. Deze oplossingen kunnen zoveel verschillen van het origineel idee, dat de rechtstreekse link niet meer duidelijk is zonder zicht op de tussen stappen die genomen zijn.

Een voorbeeld hiervan binnen dit project is het beginnend idee van een cilindrische trommel (Figuur 68) bestaande uit individuele kleppen die ook individueel beweegbaar zijn. Deze trommel met kleppen draait volgens de richting van de klok rond. Een tweede inwendige trommel staat echter stil en zorgt er hierbij voor dat de kleppen dicht blijven. Deze is niet volledig rond, zo is er bovenaan een kleine onderbreking te vinden. Op dit moment openen de kleppen onder invloed van de zwaartekracht. Eens de uitwendige trommel ver genoeg gedraaid is, is de inwendige trommel niet meer onderbroken en worden al de open kleppen terug gesloten.

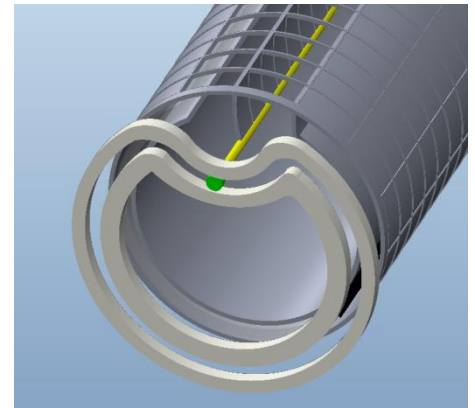


Figuur 68: Trommel met kleppen

Bij deze oplossing wordt er echter volledig vertrouwd op het feit dat de zwaartekracht zorgt voor het openen van de kleppen. Er is dus geen mechanisch systeem of dergelijke dat garandeert dat dit ook effectief zal gebeuren. Het is dus mogelijk dat bepaalde kleppen niet open gaan door klemming of andere redenen. Daarop volgend slaan de individuele geopende kleppen ook tegen de inwendige trommel aan, om terug gesloten te worden, met veel lawaai en schokken als gevolg. Eens gesloten slepen de kleppen ook over de inwendige trommel wat veel wrijving en slijtage met zich meebrengt.

Het initieel idee was om elke klep te voorzien van een verend scharnier, dit scharnier oefent een lichte kracht uit op de klep, die er voor zorgt dat de klep zeker gesloten blijft en niet meer over de inwendige trommel schuurt. Deze lichte sluitingskracht zorgt er echter wel voor dat de kleppen niet meer onder invloed van de zwaartekracht zullen open gaan bovenaan, wat juist wel gewenst is.

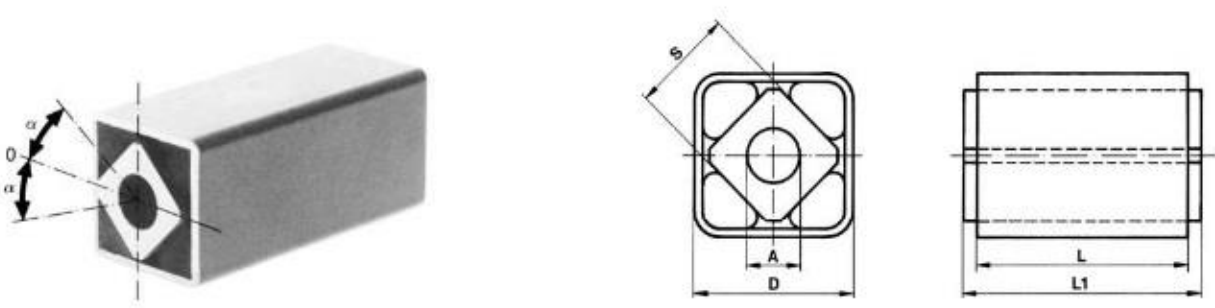
Om ervoor te zorgen dat de kleppen open gingen, zijn er verschillende mechanische ideeën aan bod gekomen. Zo was er een idee om aan het losse uiteinde van de klep, waar er zich dus geen scharnier bevindt, een wieltje te voorzien dat door een geleiding zou bewegen (Figuur 69). Op deze manier zou elke klep voorzien moeten worden van een aparte geleiding. Om dit te vermijden werden alle kleppen met elkaar verbonden, waardoor er slechts twee geleidingen nodig waren aan het begin en einde van de trommel.



Figuur 69: Brainstorm bediending kleppen

De volgende aanpassing die dan gebeurd is, is dat individuele kleppen op één dezelfde rij eigenlijk geen noodzaak zijn. Daar zij in ieder geval al verbonden waren aan hun uiteinde, was dit eerder overbodig en konden de kleppen in één rij herleid worden tot één grote klep.

Als laatste aanpassing bleek het idee van een geleiding in een stof en vuilrijke omgeving niet ideaal te zijn en zou de vorm van de geleiding geen sinecure zijn. Een tweede probleem was het feit dat door het gebruik maken van één grote klep, de verende scharnieren niet meer genoeg sluitingskracht kunnen voorzien om de kleppen gesloten te houden. Deze twee problemen zijn gecombineerd opgelost door gebruik te maken van spaninrichting (Figuur 70). De scharnierende as van de grote kleppen wordt rechtstreeks verbonden met deze spaninrichting, die een kracht uitoefent op de as en ervoor zorgt dat de kleppen gesloten worden. Tegelijkertijd zorgt een mechanisch systeem voor het openen en sluiten van de kleppen. Meer uitleg hierover vind u in hoofdstuk 5.2.2

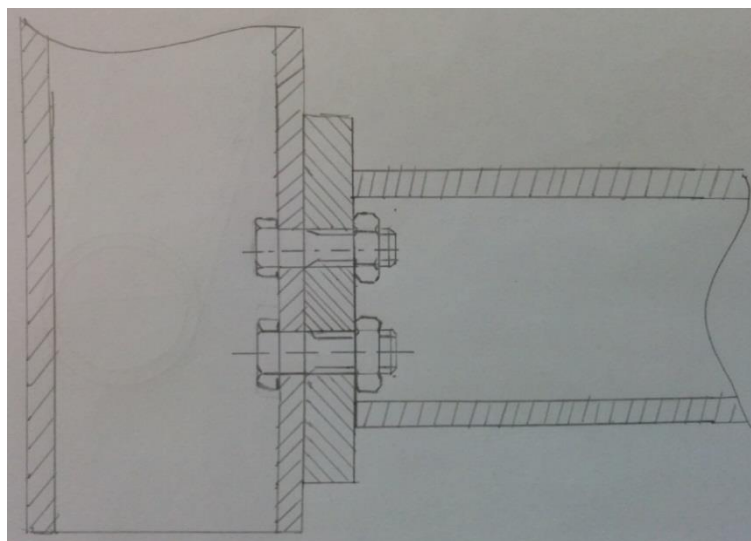


Figuur 70: Spaninrichting

4.7 Basisconcepten

Als laatste stap werden er verschillende basisconcepten gekozen uit het groot aanbod aan systemen die bedacht zijn in voorgaande stappen. Door de bedachte systemen te toetsen aan de eisen en gebruik te maken van keuzentechnieken, werden dan de best mogelijke oplossingen bepaald, die voldoen aan de wensen van Group Machiels.

Eerst werden er primitieve schetsen opgesteld (Figuur 71). Met deze schetsen is het vooral de bedoeling om problemen te ontdekken in de technische inrichting, die pas tevoorschijn komen na het tekenen van gedetailleerde tekeningen van de componenten van de installatie.

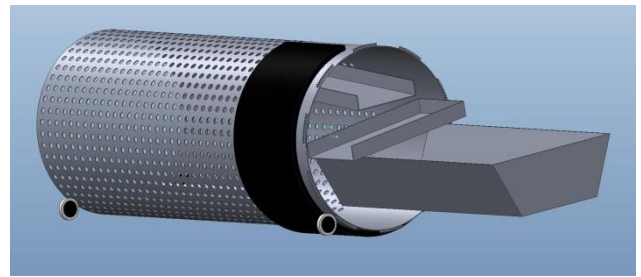


Figuur 71: Schetsen tijdens brainstormsessie

Vervolgens zijn deze basisconcepten 3D gemodelleerd met het high end CAD-pakket PTC Creo. Deze ruwe 3D concepten maakten het eenvoudig mogelijk om aan te tonen welke ideeën er beschikbaar waren en als oplossing konden dienen voor het voorsorteren van het afval. In overleg met Group Machiels kon dan besloten worden welke ideeën volgens hen het beste best bruikbaar waren, om mee verder te gaan in het uiteindelijk design van the technische inrichting.

4.7.1 Trommelzeef en magneet afvoer aan de voorzijde

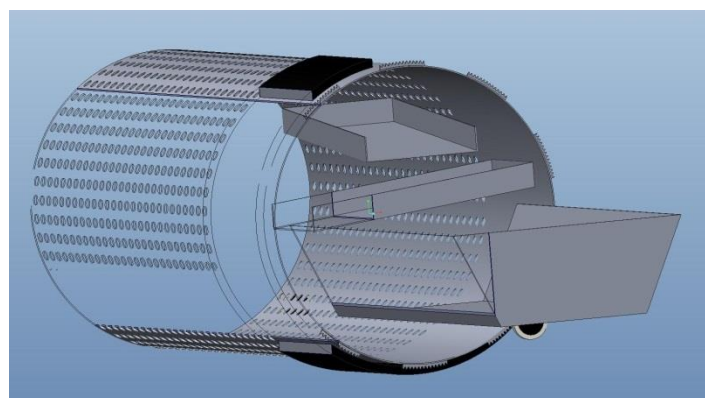
Het eerste basisconcept dat hier voorgesteld wordt (Figuur 72, 73), maakt gebruik van een standaard trommelzeef voor het realiseren van de scheiding op basis van grootte. De aanpassing die aan deze trommel gebeurt, is de afwezigheid van gaten in het eerste stuk van de trommel. In plaats daarvan bevindt zich over dit stuk een magneet, die stil staat over een beperkte lengte van onderaan de trommel tot iets voor het bovenste punt van de trommel. Dit eerste segment dient voor het scheiden van de metalen. Het rond draaien van de trommel zal door deze aanpassing met dezelfde ronddraaiende beweging een zeefwerking realiseren en simultaan het scheiden van metalen.



Figuur 72: Trommelzeef en magneet afvoer aan de voorzijde

Als we ervan uit gaan dat de trommel zal ronddraaien met de klok mee, dan zullen door deze beweging alle ferromagnetische delen die aan de onderkant zijn aangetrokken door de magneet kleven aan de wand van de trommel, en mee omhoog genomen worden. Zolang de magneet zich nog aan de andere zijde van de wand bevindt, zullen deze delen blijven kleven. Eens de ferromagnetische delen voorbij de magneet komen valt deze aantrekkingskracht weg. Onder invloed van de zwaartekracht zullen zij vervolgens loskomen van de wand van de trommel en terecht komen in schuiven voor het afvoeren van deze materialen.

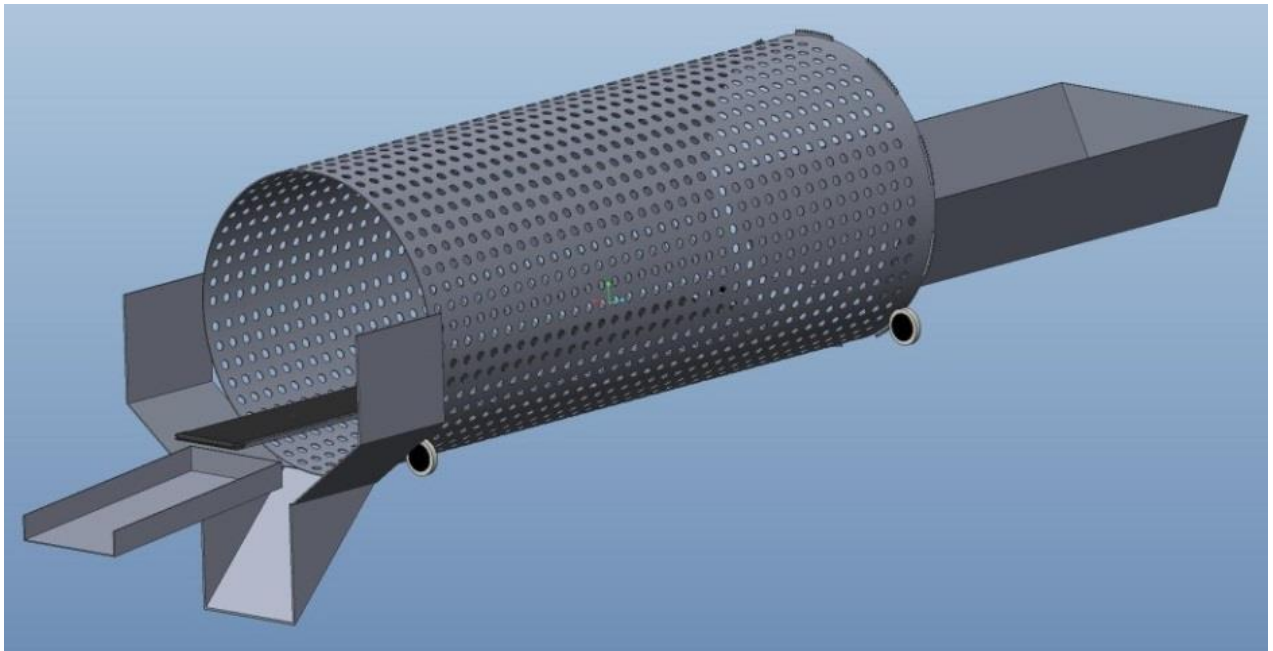
Al het materiaal dat geen invloed ondervindt van de magneet zou zich blijven opstapelen op dit punt. Hiervoor wordt er gebruik gemaakt van een inwendige spiraal in de trommel. Deze zorgt ervoor dat bij het roteren van de trommel, het overgebleven afval materiaal zich zal verplaatsen langs de lengte van de trommel om gezeefd te worden op grootte van het materiaal.



Figuur 73: Trommelzeef en magneet afvoer aan de voorzijde doorsnede

4.7.2 Trommelzeef + interne bovenbandmagneet

Als tweede basisconcept wordt er in deze inrichting gebruik gemaakt van een bovenbandmagneet in combinatie met een zeeftrommel (Figuur 74). De lange bovenbandmagneet strekt zich uit over de hele lengte van de zeeftrommel. Hierdoor kan er continue metaal verwijderd worden doorheen de zeeftrommel. Daar het afval in de trommel continue wordt omgewoeld door het draaien van de trommel, maakt dit het ook eenvoudiger om onderliggend ferromagnetisch materiaal te verwijderen. Een nadeel is wel dat de kans reëel is dat het ferromagnetisch materiaal dat kleiner is als gaten van de zeef, afgezeefd wordt voor dat het kan verwijderd worden door de bovenbandmagneet. Trommelzeven met bovenband die hierop volgen voor het creëren van de andere fracties, kunnen dit materiaal op hun beurt wel weer van een scheiding voorzien.



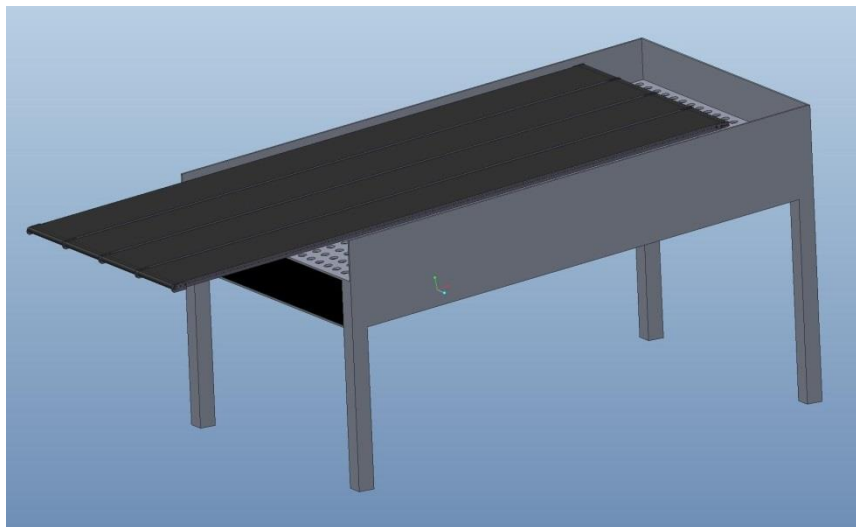
Figuur 74: Trommelzeef + interne bovenbandmagneet

4.7.3 Triltafel met bovenbandmagneet

Een basisconcept dat niet gebruik maakt van een zeeftrommel is de triltafel gecombineerd met een bovenbandmagneet (Figuur 75). In tegenstelling tot een trommelzeef neemt een triltafel een veel grotere oppervlakte in om voor hetzelfde debiet even efficiënt te scheiden op basis van grootte. Als voordeel is een triltafel plat, waardoor volume dat ingenomen wordt veel kleiner is.

Door het trillen van de triltafel wordt het materiaal ook continue omhoog gegooid en goed verspreid. Met deze gedachte wordt een bovenbandmagneet geplaatst boven de afvalstroom. Dit laat toe om op een zeer efficiënte wijze de energie, die gebruikt wordt om het materiaal te laten trillen voor de zeefwerking, tegelijk aan te wenden voor het scheiden van het ferromagnetisch materiaal. Door het omhoog vliegen van het ferromagnetisch materiaal komt het in contact met de bovenband magneet en blijft hieraan kleven om vervolgens eenvoudig te worden afgevoerd.

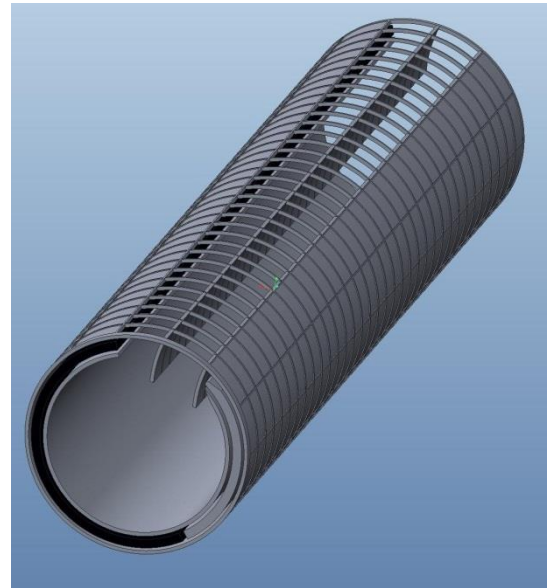
Analoog aan de trommelzeef met interne bovenbandmagneet is het nu ook mogelijk dat ferromagnetisch materiaal dat kleiner is als de gaten van zeef, al wordt afgezeefd voordat het in contact komt met de bovenbandmagneet. Voor deze fractie zal dus opnieuw een metaalscheiding moeten voorzien worden.



Figuur 75: Triltafel met bovenbandmagneet

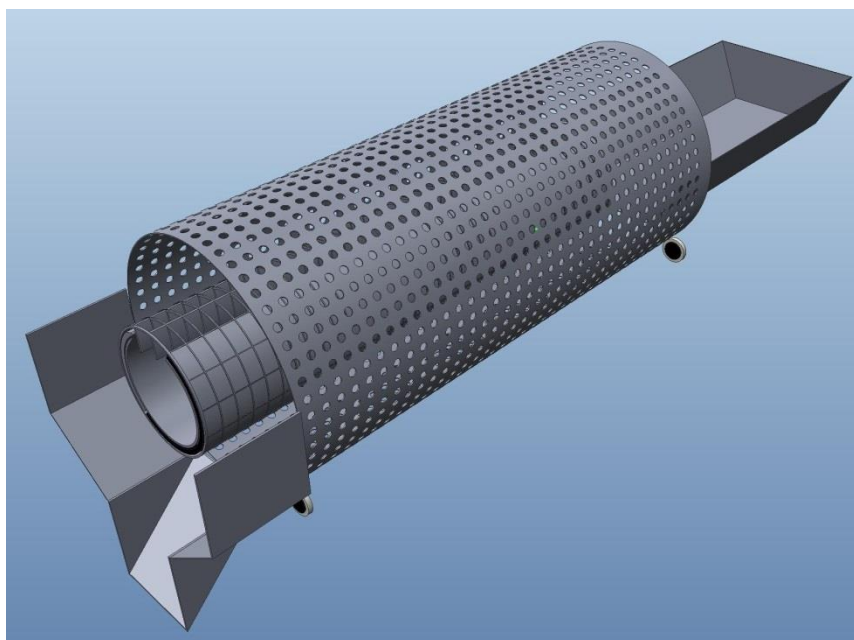
4.7.4 Zeeftrommel met interne trommelmagneet

Als laatste basisconcept wordt een zeeftrommel gecombineerd met interne trommelmagneet (Figuur 77). Deze trommelmagneet (Figuur 76), strekt zich uit over de lengte van de zeeftrommel en draait in dezelfde richting mee. De interne trommelmagneet is zo gedimensioneerd dat de afstand tussen de afvalstroom in zeeftrommel in de trommelmagneet minimaal is. Op deze manier kan de trommelmagneet een aantrekkingskracht uitoefenen op de ferromagnetische materialen in de afvalstroom die groot genoeg is om de zwaartekracht te overwinnen.



Figuur 76: Trommelmagneet

De trommelmagneet uit RVS of aluminium is intern opgebouwd uit een stilstaande kern, bestaande uit ten eerste een stilstaande buis en ten tweede een magneet, die loopt van onder tot iets voor de top van de magneettrommel. Daar tegenover bestaat de externe zijde van de magneettrommel uit een buis met verschillende kleppen. Dit maakt het mogelijk dat materiaal dat aan de onderzijde aangetrokken wordt, tegen de externe zijde aan meegenomen worden naar de bovenzijde. Daar zullen de voorziene kleppen opengaan en het ferromagnetisch materiaal in de interne trommel laten vallen om zo afgevoerd te worden doormiddel van een spindel.



Figuur 77: Zeeftrommel met interne trommelmagneet

5 Eigenlijke concepten

In dit hoofdstuk wordt er uitgelegd hoe de verschillende ontwerpen werken. Zoals in de voorgaande hoofdstukken al aangehaald zijn er 3 ontwerpen gemaakt. Deze zullen besproken worden met detailillustraties om zo goed mogelijk de werking uit te leggen. Omdat het voor deze masterproef van belang is een werkend concept te ontwikkelen, zijn er geen volledige technische tekeningen gemaakt. Voor sommige noodzakelijke onderdelen, zoals assen en spieën, is wel een correctie tolerantieaanduiding voorzien in de 2D-tekeningen. De meeste van de tekeningen, zowel 2D als 3D zijn als bijlage te vinden op de bijgevoegde CD. Voor het bekijken van de interactieve 3D-tekeningen is het best om eerst het kladblokbestand te lezen.

Alle balken, profielen en plaatmateriaal zijn van S235JR staal. Deze zijn ook allemaal geschilderd om het roesten tegen te gaan. Het metaal gebruikt voor de metaalscheidingsinstallaties is roestvaststaal (RVS). Dit metaal moet niet-magnetisch zijn. Hiervoor is het nodig dat het staal tussen de 6 en 26% nikkel bevat. Elke staalsoort in de AISI 300-reeks zou hieraan voldoen. Echter houden wij productiemogelijkheden in het achterhoofd. Daarom valt de keuze op AISI 316L. Deze corrosie vaste staalsoort heeft een laag koolstof gehalte en is dus nog goed lasbaar. [51]

5.1 Droogtrommel met geïntegreerde metaalverwijdering

Dit systeem is uiteraard een gevolg van het volledige ontwerpproces dat er behandeld is in Hoofdstuk 4. De droogtrommel met geïntegreerde metaalverwijdering is eigenlijk een variatie op het proces dat besproken is in Hoofdstuk 4.7.4. Er zijn echter een aantal duidelijke veranderingen. Ten eerste is dit systeem gebaseerd op een droogtrommel en niet op een trommelzeef. Deze verandering heeft vooral te maken met het feit dat eventuele metalen onderdelen al door de trommelzeef kunnen vallen voor ze aangetrokken worden door de interne magneettrommel. Tevens is een conventionele droogtrommel een systeem met een groot “verloren” intern volume. Dit volume is uiteraard nodig om de verhitte lucht door te voeren en het materiaal te drogen. Maar omdat het materiaal maar kortstondig volledig in aanraking komt met de verhitte lucht, blijft er veel ruimte over om een extra systeem in te bouwen.

Als tweede is de interne magneettrommel niet meer even lang als de externe trommel. Omdat een droogtrommel meestal een grote lengte nodig heeft om het materiaal voldoende te drogen, en een magneetsysteem in een relatief korte afstand al effectief is, is het dus niet nodig de magneettrommel even lang te maken als de droogtrommel.

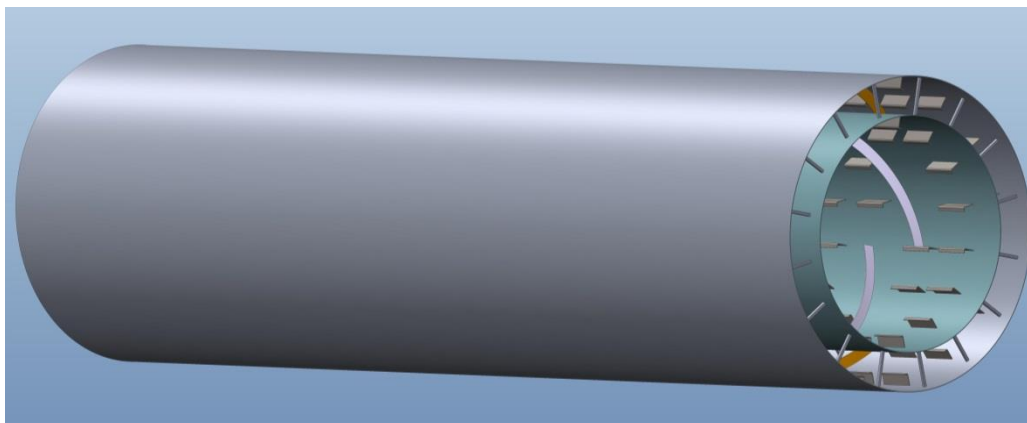
5.1.1 Basis droogtrommel

Een conventionele droogtrommel heeft meestal een grote lengte en is onder een aflopende hoek geplaatst. De lengtes kunnen oplopen tot wel 35 meter [52]. Deze lengte is nodig om het materiaal voldoende tijd te geven om te drogen. Intern hebben de meeste droogtrommels veel schoepen en ribben om het te drogen materiaal tijdens de draaibeweging goed te mengen. Meestal zijn de schoepen zo ontworpen dat ze het materiaal tot helemaal bovenaan de trommel meenemen. Hierdoor wordt alles goed los gemaakt om het gelijkmatig te kunnen drogen. Door de kleine aflopende hoek waaronder de trommel staat zal het materiaal dankzij de zwaartekracht aflopen naar één uiteinde. Deze basisideeën staan aan het begin van zowat elk ontwerp voor een droogtrommel.

Eén van de belangrijkste punten binnen deze masterproef is het bedenken van nieuwe systemen die een fysische scheiding doen waar men normaal gezien een kant-en-klare machine voor aankoopt. Het *out of the box* denken was een belangrijk punt voor Group Machiels. Daarom is het ontwerp van de droogtrommel ook niet helemaal volgens de conventionele regels.

De grootste verandering, visueel, is dat de droogtrommel slechts 15 meter lang is. De relatief korte lengte heeft als voordeel dat de installatie, indien nodig, makkelijker verplaatsbaar is. Het probleem echter is dat de droogafstand te klein wordt om het materiaal te drogen.

Als oplossing is er gebruikt gemaakt van een dubbele droogtrommel. De opbouw is ongeveer hetzelfde als de dubbele zeeftrommel in Hoofdstuk 2.1.2. De buitenste trommel heeft een diameter van 4 meter en de binnenste trommel een diameter van 3 meter. Dit betekent dat er een opening van 500 mm is tussen beide trommels, ruim voldoende voor het materiaal dat Group Machiels wil behandelen. Doordat beide 15 meter lang zijn, komt de totale drooglengte op een acceptabele 30 meter. (Figuur 78)

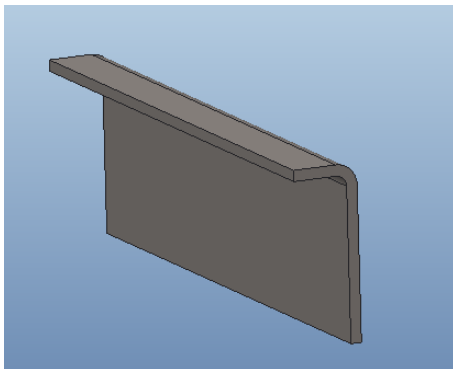


Figuur 78: Dubbel droogtrommel

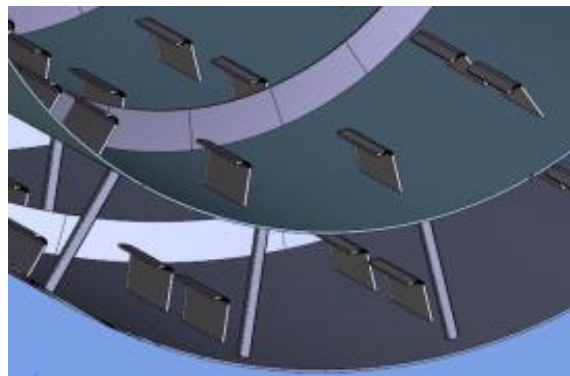
Het nadeel van een dubbele droogtrommel is dat men deze niet onder een aflopende hoek kan plaatsen. Het materiaal moet eerst de 3 meter diameter trommel doorlopen en daarna de 4 meter diameter trommel. Daarom zijn de twee trommels voorzien van spiralen om het materiaal voort te duwen. Omdat de gehele installatie aangedreven wordt door eenzelfde motor moeten de spiralen van de 4 meter diameter trommel dus in de andere richting staan dan die van de 3 meter diameter trommel. Dit is duidelijk gemaakt in Figuur 81 waar goed te zien is dat de oranje gekleurde (4 meter) spiralen in tegengestelde richting het materiaal zullen wegduwen dan de blauwgrijze spiralen (3 meter).

De trommels zijn tevens voorzien van schoepen om het materiaal te mengen. Deze zijn ontworpen met één uiteinde geplooid tot een hoek van 90° (Figuur 81). Deze hoek zorgt ervoor dat het materiaal goed gemengd wordt.

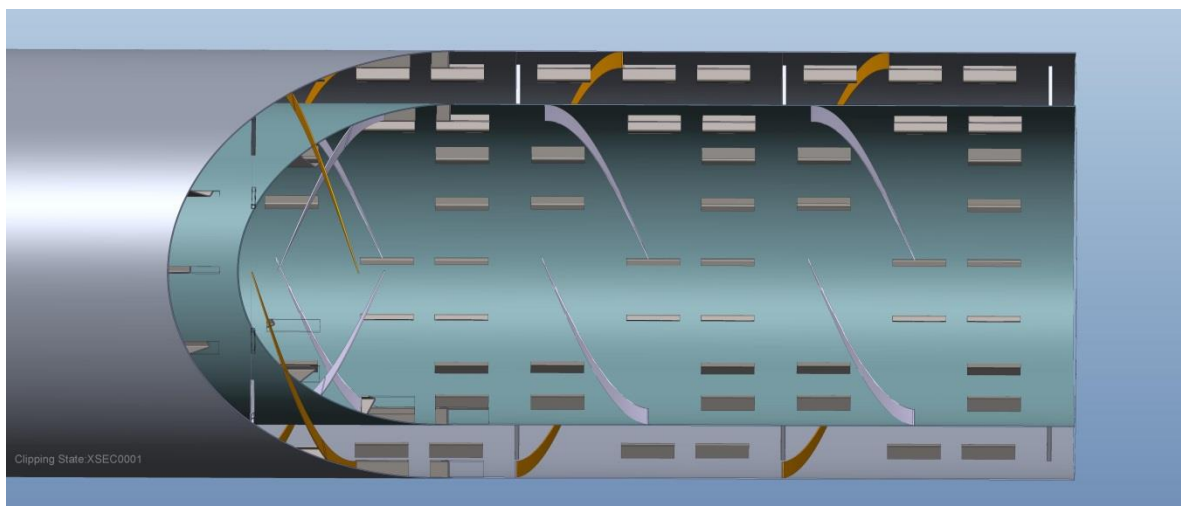
Hoewel de spiralen in beide trommels de juiste richting moeten hebben, is dit voor de schoepen niet nodig. Omdat het hele systeem in dezelfde richting draait zullen de schoepen ook in dezelfde draairichting werken. Dit is geïllustreerd in Figuur 79, 80 en 82. De schoepen van de 3 meter diameter trommel staan in dezelfde richting als de schoepen op de 4 meter diameter trommel.



Figuur 81: Schoepen voor de droogtrommel

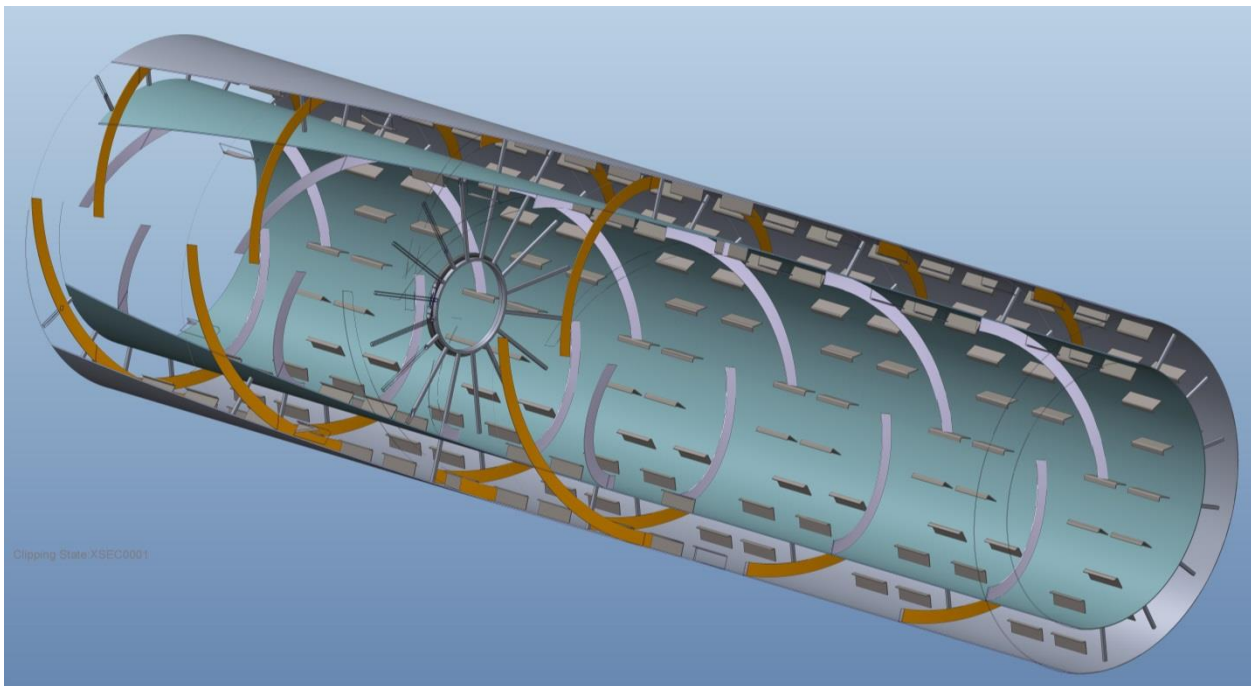


Figuur 80: Visualisatie schoepen



Figuur 79: Gedeeltelijke doorsnede, illustratie spiralen

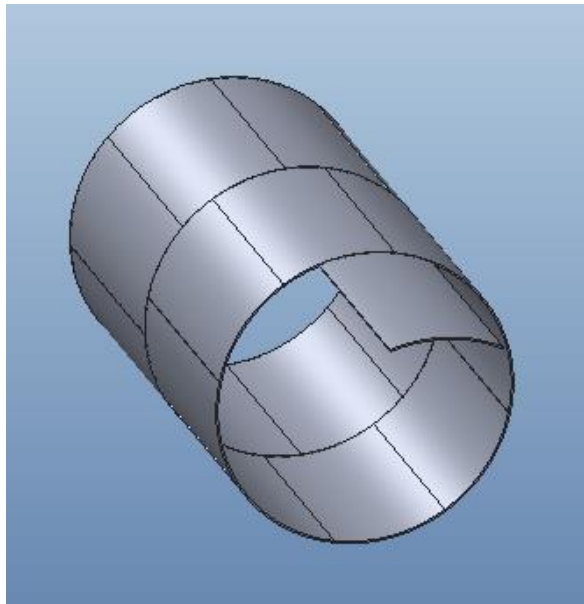
Zoals op Figuur 79 en Figuur 82 weergegeven is te zien dat de spiralen niet één geheel vormen. Deze keuze is bewust gemaakt om de droogtijd nog te verlengen. Het materiaal zal dus eerst gemengd en omhoog gegooid worden door de schoepen alvorens het gegrepen wordt door de spiralen. Alle secties spiralen, zowel in de grote als de kleine trommel, hebben een spoed van 4 meter. Dit betekent dat het materiaal 4 meter verder geduwd zal worden als de trommel één volledige toer maakt. Deze 4 meter per toer zou veel te snel zijn daarom zijn de spiralen maar een kwart groot of 90° . Het gevolg is dat de spiralen het materiaal ook maar een kwart van de volledige afstand zullen voortduwen. Telkens als het materiaal gegrepen wordt door een spiraal zal het 1 meter doorschuiven om vervolgens weer door de schoepen gemengd te worden. Deze ontwerpkeuze zorgt er eveneens voor dat het nodige debiet behouden blijft. Eveneens is op Figuur 82 het interne ophangpunt voor de magneettrommel te zien. Meer hierover in Hoofdstuk 5.1.4.



Figuur 82: Dubbele droogtrommel gedeeltelijke doorsnede

Op Figuur 80 kan men zeer goed zien hoe de twee trommels verbonden zijn. Er zijn op regelmatige basis verbindingen geplaatst om het gewicht van de trommel, magneettrommel en het te verwerken materiaal gelijkmatig te verdelen over beide trommels. Dit gebeurt met 16 holle vierkante profielen verdeelt in één vlak tussen de trommel. Zo zijn er 7 vlakken waar telkens 16 holle verbindingsprofielen zijn aangebracht. In hoofdstuk 5.1.2 wordt de plaatsing van de vlakken van deze verbindingen duidelijk.

Op alle voorgaande figuren in dit hoofdstuk, en alle volgende figuren, zijn de trommel afgebeeld als één groot geheel. Uiteraard is het onmogelijk een naadloze buis van 3 of 4 meter doormeter en 15 meter lang te maken. Om de figuren duidelijker te maken en om het tekenen op computer vlotter te laten verlopen is er gekozen om de trommel niet af te beelden in segmenten. Om toch een beeld te geven van hoe zo een trommel gemaakt zou worden is figuur 83 opgesteld. Hierop is te zien dat een trommel van deze grootte opgedeeld is in verschillende segmenten. Tijdens het lassen van deze delen let men er op dat de lasnaden van de voorgaande 'ringen' niet overeen komen. Dit zorgt voor een stevigere constructie.



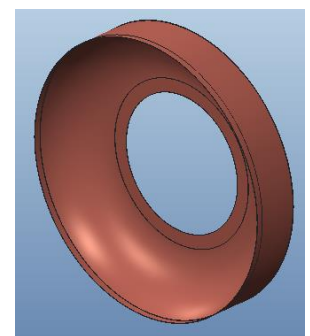
Figuur 83: gedeeltelijke trommel afgebeeld in segmenten

5.1.2 Verdere opbouw droogtrommel

In vorig hoofdstuk 5.1.1 is de basisconstructie van de droogtrommel volledig aangekaart. We gaan nu verder met de opbouw van alle onderdelen en systemen die aan de droogtrommel vasthangen. Later in hoofdstuk 5.1.3 zullen we de onderdelen bespreken die niet vast aan de droogtrommel hangen maar wel deel uitmaken van de volledige constructie.

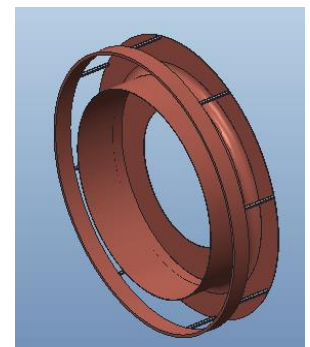
Tot nu toe is eigenlijk de 'naakte' trommel besproken. Om alles te laten werken zoals gepland moeten er nog onderdelen vastgemaakt worden aan de trommels. Deze onderdelen draaien mee met de trommel. Verder zal duidelijk worden wat hiermee bedoeld wordt.

Als eerste gaan we de twee uiteinde van de droogtrommel afwerken. Hiervoor zijn twee verschillende deelsystemen ontworpen. Indien het materiaal de volledige 3 meter diameter trommel heeft doorlopen, moet het materiaal kunnen overgaan in de grotere 4 meter diameter trommel. Hiervoor is het onderdeel in Figuur 84 ontworpen. Dankzij dit onderdeel wordt de buitenste trommel één meter verlengd. Het materiaal zal dus via de afronding van de binnenste (3 meter) trommel naar de buitenste (4 meter) trommel glijden.

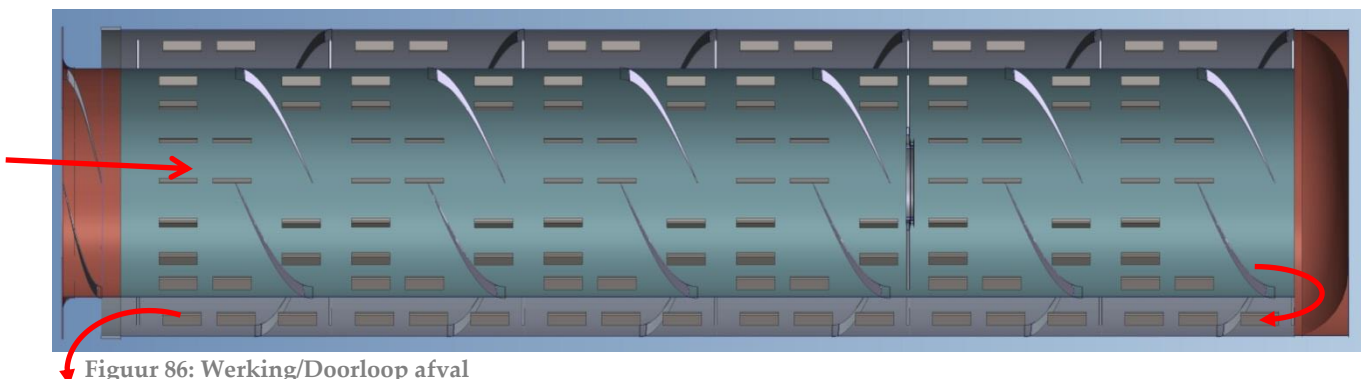


Figuur 84: Overgang van 3 meter naar 4 meter

De aan- en afvoer van het te drogen materiaal wordt mogelijk gemaakt met het onderdeel in Figuur 85. Doordat nu de binnenste trommel verlengd wordt zal het inkomende materiaal zich niet mengen met het uitgaande materiaal. Het uitgaande materiaal valt door de openingen naar beneden en wordt opgevangen in een losstaande trechter die verder besproken wordt in hoofdstuk 5.1.3. Het onderdeel in figuur 85 zorgt eveneens voor de afvoer van de ingeblazen lucht die gebruikt is geweest voor het drogen van het afval. In onderstaande figuur 86 kan men duidelijk het gebruik en de werking zien van deze twee onderdelen.



Figuur 85: In- en uitgang afval



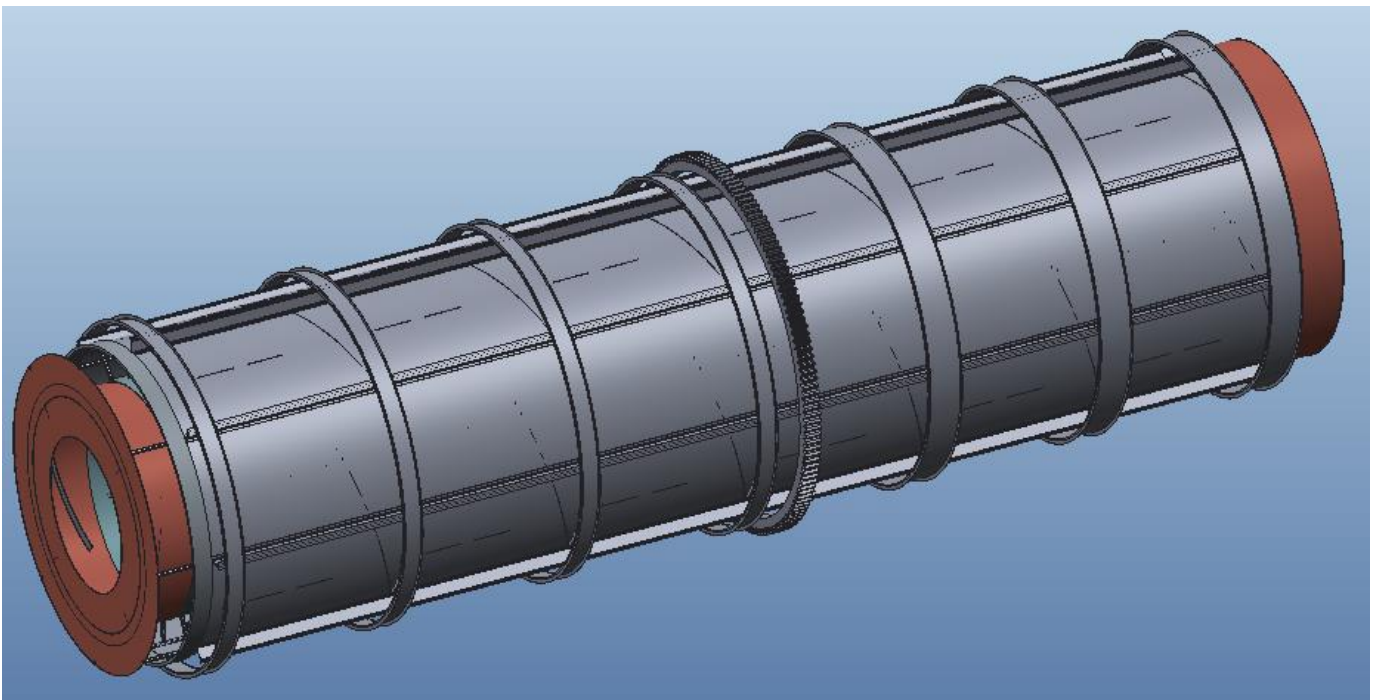
Figuur 86: Werking/Doorloop afval

Ten tweede werd de buitenmantel van de 4 meter diameter trommel afgewerkt. Om er zeker van te zijn dat er geen doorbuiging zou optreden zijn er een aantal maatregelen genomen. De eenvoudigste manier hiervoor is om de constructie te verstevigen. Verder kan men er ook voor zorgen dat het hele systeem voldoende ondersteunt wordt.

Daarom werden er op regelmatige basis ringen voorzien waarop de trommel via wielen op steunt. Deze ringen staan op dezelfde afstand als de interne verbindingen tussen de twee trommels. Dit zorgt ervoor dat het gewicht rechtstreeks wordt doorgegeven aan een steunpunt en de minieme doorbuiging, die er nog is, wordt opgevangen door de geplaatste I-profielen. Deze I-profielen zijn volgens de DIN 1025-5 (1994-03) norm. Op Figuur 87 zijn deze aanpassingen te zien. [53]

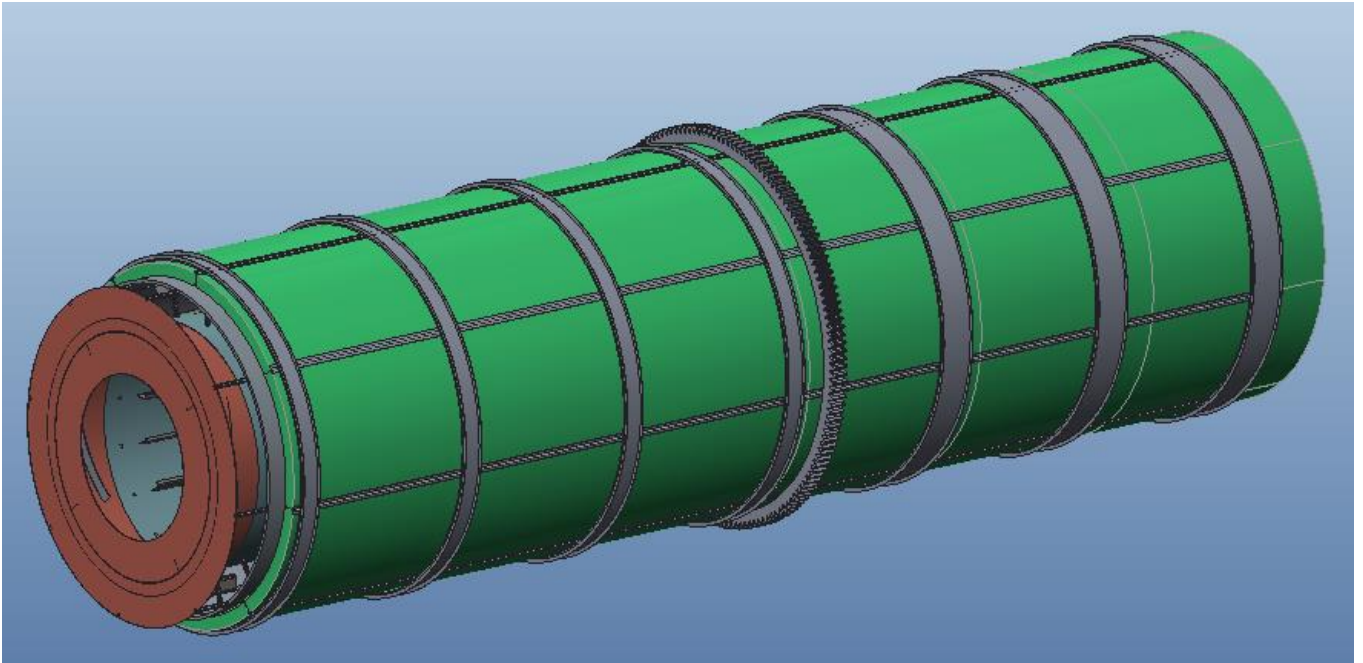
De drie rechtse ringen, waar de trommel op steunt, zijn breder dan de vier andere ringen. Dit is nodig omdat de magneettrommel die besproken wordt in hoofdstuk 5.1.4 hier gepositioneerd is.

Als aandrijving is er gekozen voor een tandwielaandrijving. Op dezelfde figuur 87 is de tandwielring rondom de trommel te zien.



Figuur 87: Trommel met externe aanhang

Omdat er in deze masterproef ook aandacht wordt besteed aan duurzaamheid is er bij het ontwerp van de droogtrommel isolatie voorzien (Figuur 88). De isolatie zorgt voor minder warmteverlies en dus een lager energieverbruik. Figuur 88 laat zien dat de isolatie de verloren ruimte tussen de trommel en de steunringen volledig opvult. Merk op dat het overgangsdeel tussen de kleine en grote trommel (figuur 84) volledig ingedekt met de isolatie. Dit onderdeel maakt ook deel uit van de droogtrommel. Isolatie is hier ook nuttig omdat het overgangsonderdeel een groot manteloppervlak heeft.

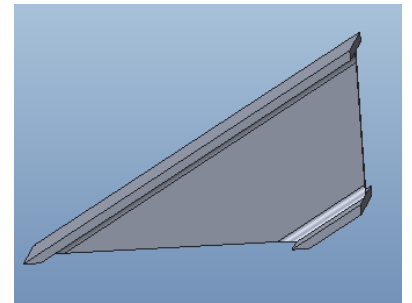


Figuur 88: Droogtrommel met isolatie

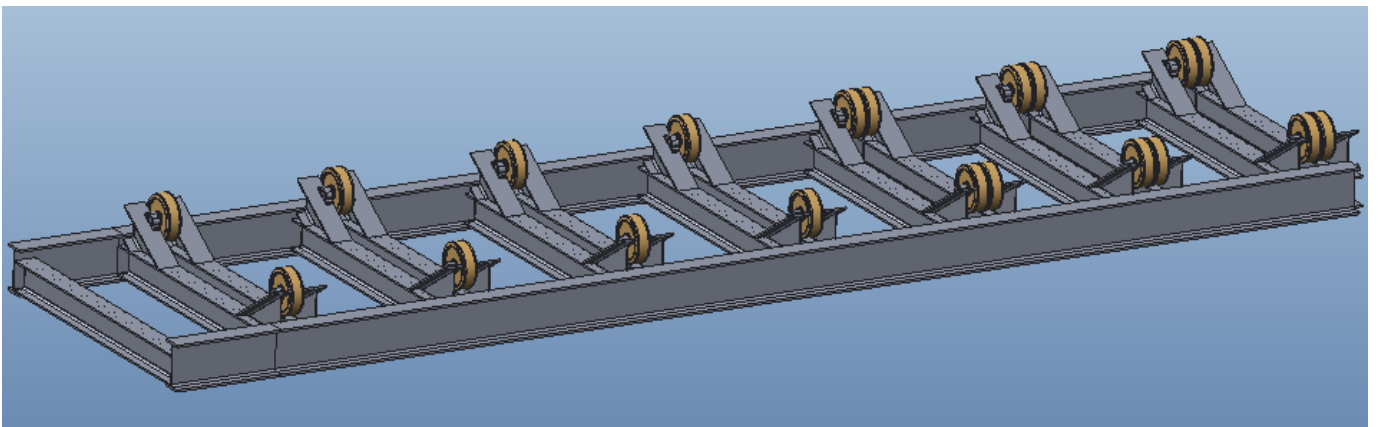
5.1.3 Constructie rondom droogtrommel

In dit hoofdstuk zullen alle systemen en onderdelen besproken worden die niet fysiek vasthangen aan de droogtrommel. Dit zijn meestal ondersteunende onderdelen en dus noodzakelijk voor de goede werking te garanderen van de gehele droogtrommel.

Het grootste en belangrijkste losstaand onderdeel is het frame waarop alles gebouwd is. Dit frame is volledig opgebouwd uit I-profielen volgens DIN 1025-2 (1995-11) [53]. Dit betekent dat ze een hoge weerstand tegen buiging hebben. Op dit frame zijn ook de steunwielen geplaatst (Bijlage B). Deze zijn bevestigd op een bewerkt I-profiel zoals te zien in Figuur 90. Door het I-profiel langs beide zijden af te snijden, onder een bepaalde hoek kunnen we een stevige en goedkope basis maken waar de wielen op kunnen steunen. In onderstaande Figuur 89 zien we het volledige frame. Ook hier is extra aandacht besteed aan de plaats waar dat de magneettrommel moet komen. De plaatsing van dubbele steunwielen zorgen op deze plaats voor een stabiele basis waar de trommel op kan rusten.

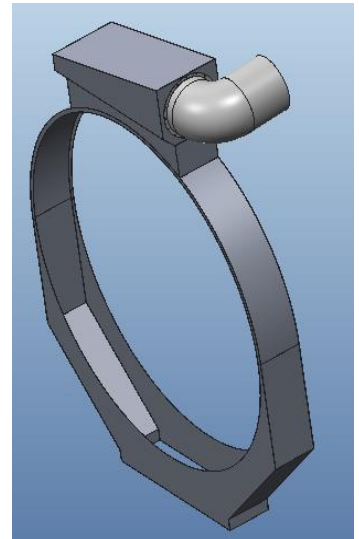


Figuur 90: Basis voor steunwielen



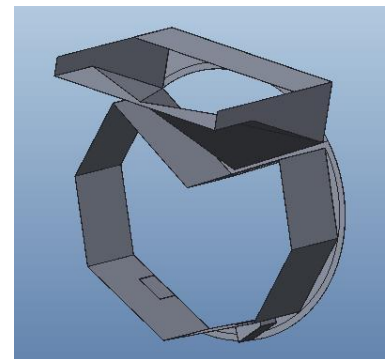
Figuur 89: Ondersteunend frame

Als tweede hebben we de trechter (figuur 91) die het gedroogde materiaal opvangt. Dit onderdeel is al eens aangekaart in hoofdstuk 5.1.2. Deze trechter zit volledig rondom de openingen die te zien zijn op figuur 85. Deze trechter heeft 2 functies. Enerzijds zal het, het gedroogde afval gecontroleerd geleiden tot de opening waar het afval uit de machine gaat. Anderzijds zal het de lucht die in de trommels geblazen wordt wegleiden naar een eventueel recuperatiesysteem.



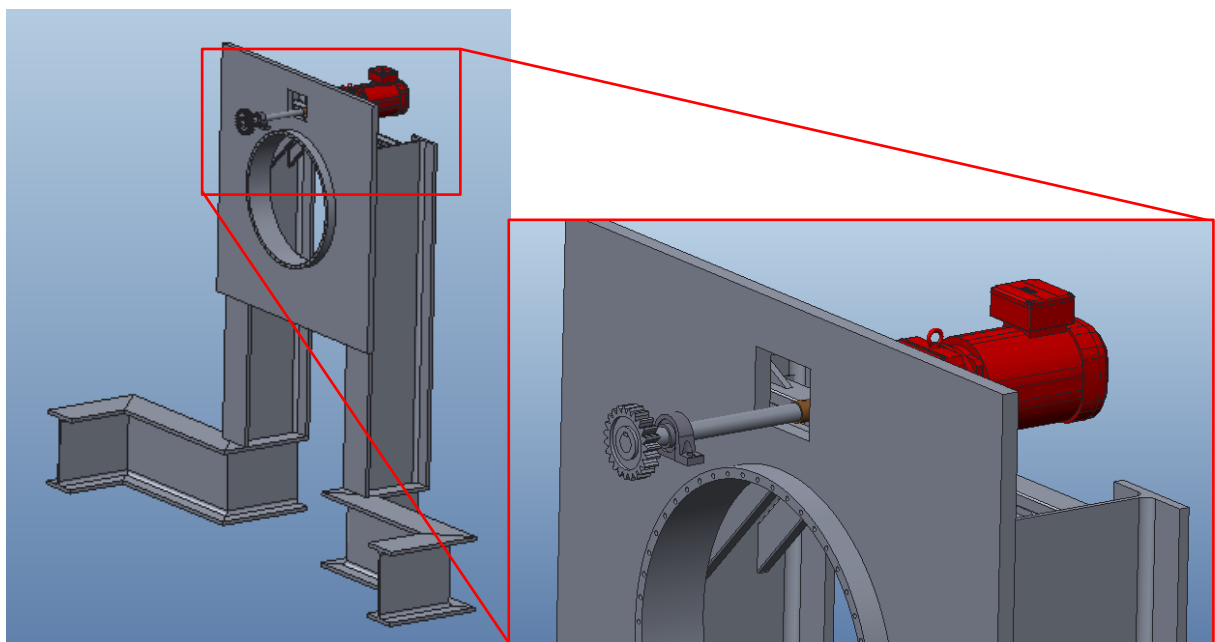
Figuur 91: Trechter voor afval en lucht

Ten derde is er de aanvoer van het afval en de lucht. Dit is een constructie uit staalplaat (Figuur 92). De lucht wordt onderaan dit onderdeel binnen geblazen. Het afval komt niet in aanraking met de luchtstroom alvorens het volledig in de droogtrommel is. Hiermee wordt vermeden dat het materiaal terug omhoog geblazen wordt.



Figuur 92: Invoer lucht en afval

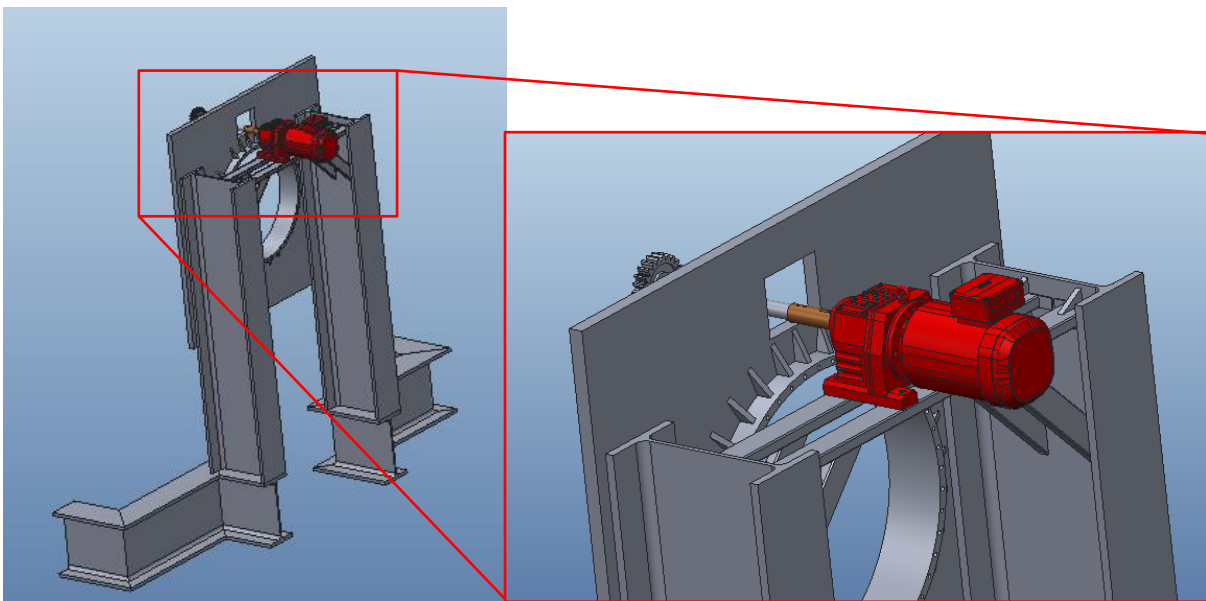
Het vierde punt is eigenlijk een vast onderdeel van de trommel maar wordt toch in dit hoofdstuk besproken omdat het een verwijderbaar onderdeel is van het gehele systeem. dit onderdeel hebben we de eindplaat genoemd. (Figuur 93 en Figuur 94)



Figuur 93: Eindplaat vooraanzicht

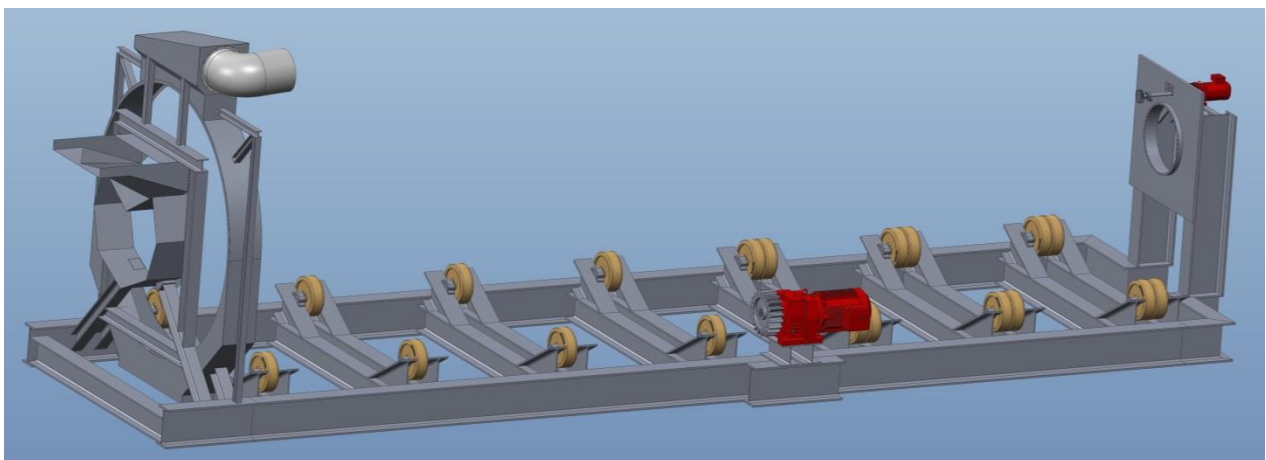
Zoals we kunnen zien komen de I-profielen overeen met de I-profielen van het frame. De eindplaat kan dus via meerdere boutverbindingen vastgemaakt worden aan het ondersteunende frame. De eigenlijke functie van dit onderdeel is het vasthouden van de magneettrommel die besproken wordt in hoofdstuk 5.1.4. Deze statische ophanging is noodzakelijk voor de werking van de magneettrommel.

De motor die de magneettrommel aandrijft is bevestigd aan de eindplaat. De specificaties van deze motor zijn te vinden in Bijlage C. Op figuur 93 is ook een gelagerde behuizing te zien. Deze behuizing is bevestigd op het statische deel van de magneet trommel.



Figuur 94: Eindplaat achteraanzicht

Als laatste is in onderstaande figuur 95 de volledige constructie te zien. Hier worden onder andere de ondersteuning voor de trechter, de afval/lucht aanvoer geïllustreerd en de motor die de volledige droogtrommel aandrijft. (Bijlage D)

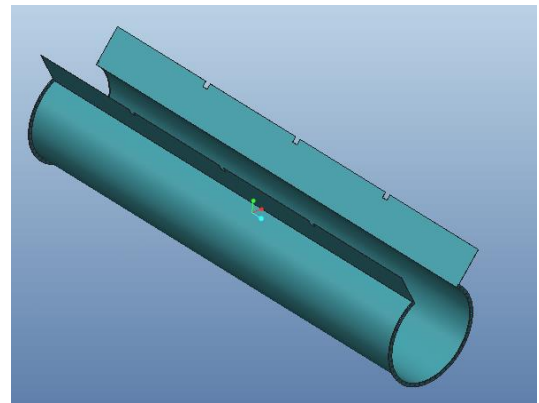


Figuur 95: Volledige ondersteunende constructie

5.1.4 Magneettrommel

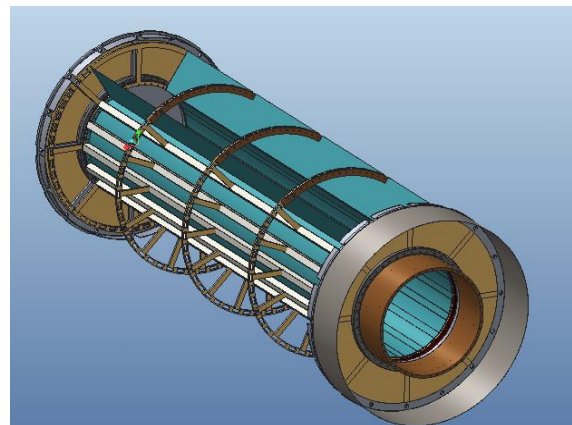
De magneettrommel is het belangrijkste onderdeel van de volledige droogtrommel. Het is dit systeem dat ervoor zorgt dat het metaal uit het te drogen afval verwijderd wordt. De magneettrommel is opgebouwd uit een statisch en roterend gedeelte.

Binnen het statische gedeelte is er een halve trommel (Figuur 96) waar het opgenomen metaal in verzameld wordt. Dit onderdeel vormt ook de ruggengraat voor het hele statische gedeelte. Op Figuur 96 te zien dat de blauwgekleurde halve trommel verstevigd is met holle rechthoekige profielen. De betekenis van de opstaande plaatdelen zal later in dit hoofdstuk duidelijk worden.



Figuur 96: Verzamel trommel voor metaal

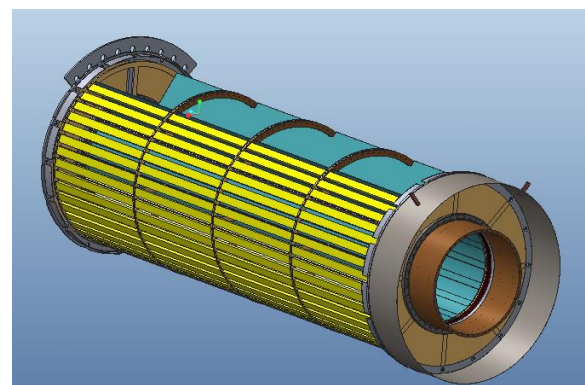
In Figuur 97 wordt het grootste stuk van het volledig statisch gedeelte weergegeven. De bruine gekleurde cilinder is het gedeelte dat bevestigd wordt aan de eindplaat in Figuur 93 en 94. Het is ook op deze cilinder dat de lagering voor de aandrijfas van de motor naar de magneettrommel is bevestigd. De cirkels die te zien zijn in het midden van Figuur 97 zijn geleiders voor ronddraaiende mechanisme.



Figuur 97: Statisch gedeelte magneettrommel

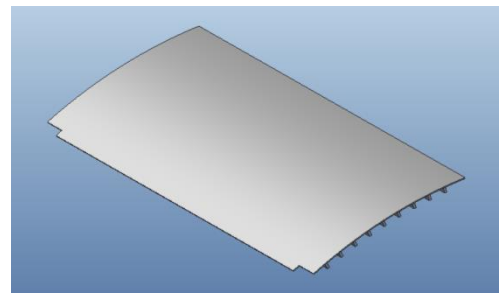
Deze bruine cilinder is langs de andere zijde verbonden aan een vertande lager. Deze vertande lager wordt aangedreven door de motor die op de eindplaat staat bevestigd. Zo kan het draaiende gedeelte van de magneettrommel vrij bewegen, los van het statische gedeelte.

Een ander onderdeel van het statische gedeelte zijn de magneten (geel). In Figuur 98 zijn deze in een gele kleur aangeduid. Er werd bewust gekozen voor elektromagneten omdat deze op een grotere afstand metalen kunnen aantrekken (Hoofdstuk 2.2.1). (Zie bijlage op CD voor grotere figuren)



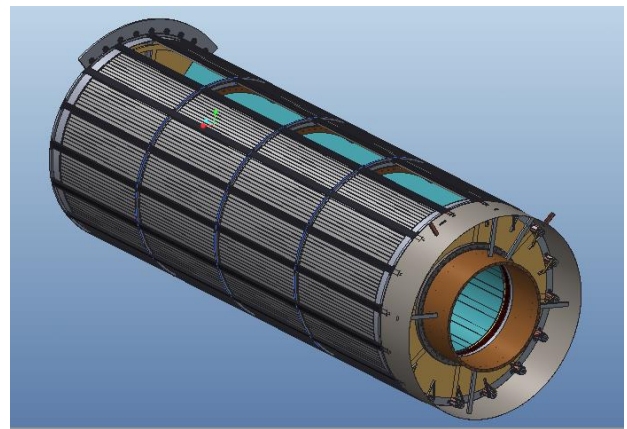
Figuur 98: Visualisatie magneten

Het draaiende gedeelte bestaat vooral uit kleppen (Figuur 99) die per 4 gemonteerd zijn op een as. Het zijn deze kleppen waar het te verwijderen metaal aan blijft hangen. De magneten komen dus niet in contact met het te verwijderen materiaal. Doordat de magneten niet volledig rondom gemonteerd zijn zal de magnetische werking op een bepaald moment afnemen en uiteindelijk stoppen. Als de kleppen de opstaande platen van de binnenste trommel voorbij gaan, is het magnetische veld zo verzwakt dat het geen invloed meer heeft op het metalen afval en deze deeltjes in de binnenste trommel kunnen vallen.



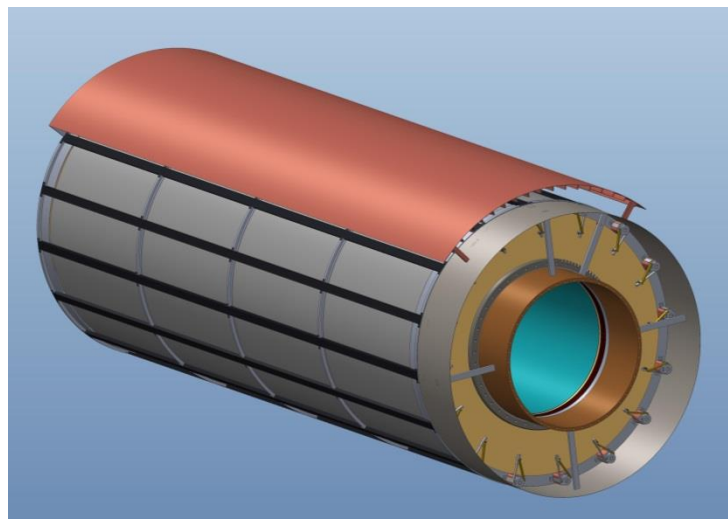
Figuur 99: Klep voor magneettrommel

In figuur 100 zijn alle kleppen gemonteerd. Iedere rij bevat 4 kleppen en omdat ze op dezelfde as zijn bevestigd zullen ze ook gelijktijdig openen. Deze assen zitten gelagerd in verschillende ringen die over de geleiders van figuur 97 rollen.



Figuur 100: Magneettrommel met kleppen

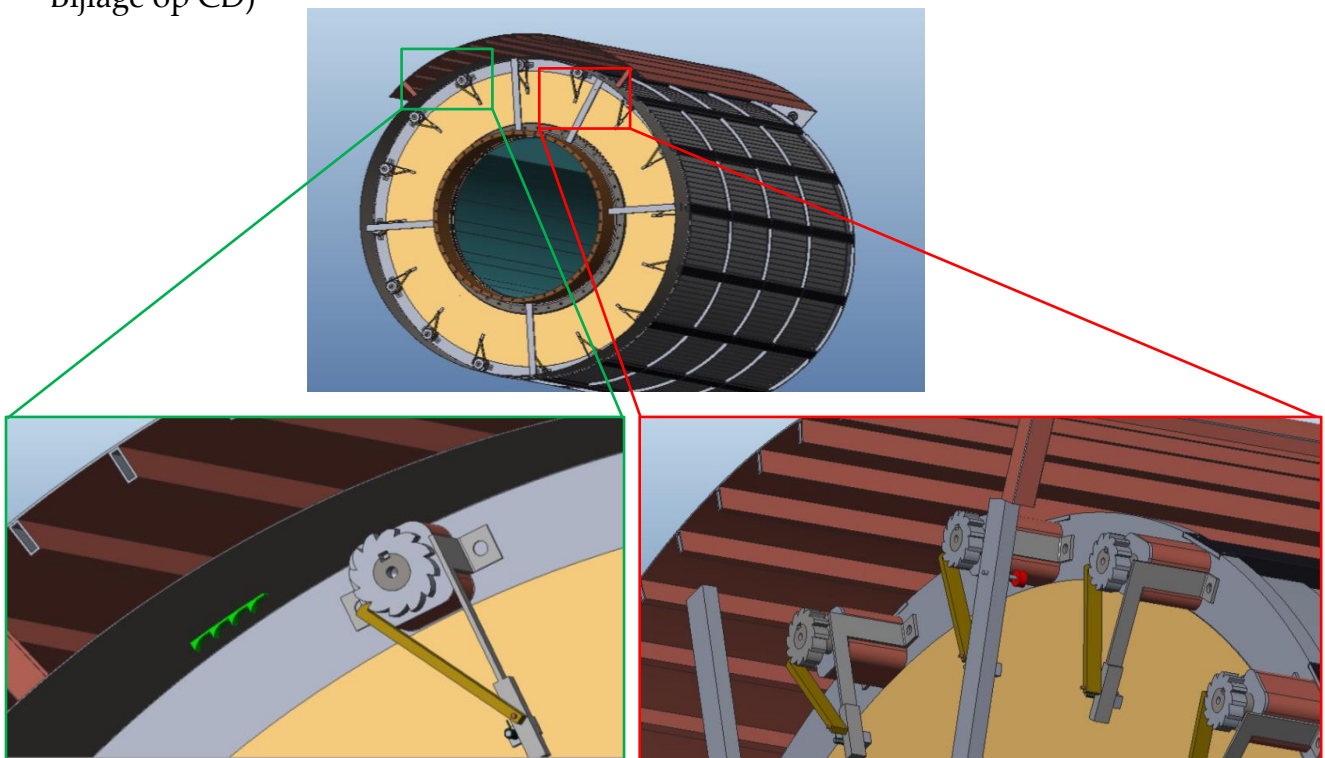
De functie van een droogtrommel is om uiteraard het materiaal te drogen. Dit droogproces wordt versnelt door het materiaal goed te mengen. Dankzij de ingebouwde schoepen in de droogtrommel wordt het materiaal omhoog gegooid. Echter zou dit materiaal dan in de magneettrommel kunnen belanden, wat het nut van de magneettrommel teniet doet. Daarom is er een afschermkap ontworpen om ervoor te zorgen dat er geen non-metalisch afval in de binnenste magneettrommel terechtkomt. (Figuur 101)



Figuur 101: Magneettrommel met afdek

Het laatste onderdeel van het bewegende gedeelte is het mechanisme dat de kleppen opent en terug sluit. (Figuur 102) Aan het uiteinde van de assen, waar de kleppen aan hangen, is een torsie-arm bevestigd die de kleppen altijd dicht zal houden. Aan deze torsie armen zijn vormwielen voorzien die in een tandlat (groen gekleurd) grijpen op het moment dat de kleppen boven de opening van de binnenste trommel zijn. Door het aangrijpen van de tandlat zullen de kleppen open gaan en blijven ze open staan dankzij het blokkeersysteem (goud gekleurd). In de rode kader van figuur 102 is een rood wielte te zien. Dit wielte zal de blokkeerarm opzij duwen zodat de torsiearm terug op de gesloten positie kan gaan staan (Bijlage E). Uiteindelijk zal het verzamelde metaal doormiddel van een spindel of transportband uit de magneettrommel gevoerd worden.

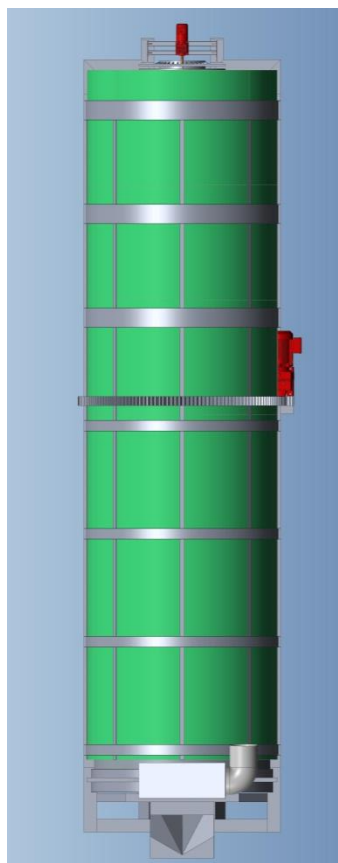
Zoals vermeld hangt de magneettrommel vast aan de eindplaat met een lager. Zo kan het binnenste gedeelte stil blijven staan terwijl de buitenste mantel met kleppen kan ronddraaien. Echter moet voor de stevigheid nog een steunpunt voorzien worden. In Figuur 82 en Figuur 107 is aan de achterzijde van de magneettrommel een soort spinnenweb te zien. Dit zijn verbindingssarmen die een tweede lager vasthouden waar de magneettrommel aan hangt. Deze lager heeft geen vertanding en is bevestigd aan het stilstaande gedeelte van de magneettrommel. Dit is ook te zien in Figuur 86, op ongeveer 2/3 van de totale lengte is een verdikking te zien in de binnenste trommel. Dit is de lager met verbindingssarmen. (Voor een duidelijker beeld zie 3D-tekening in Bijlage op CD)



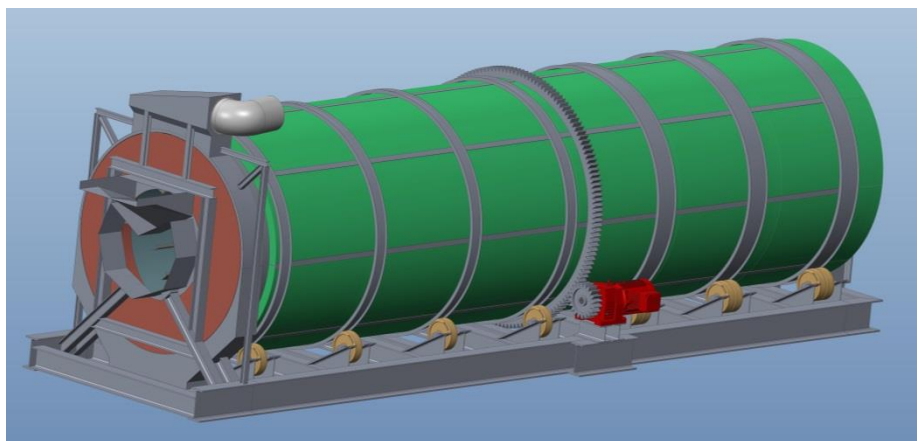
Figuur 102: Kleppen mechanisme

5.1.5 Volledig ontwerp

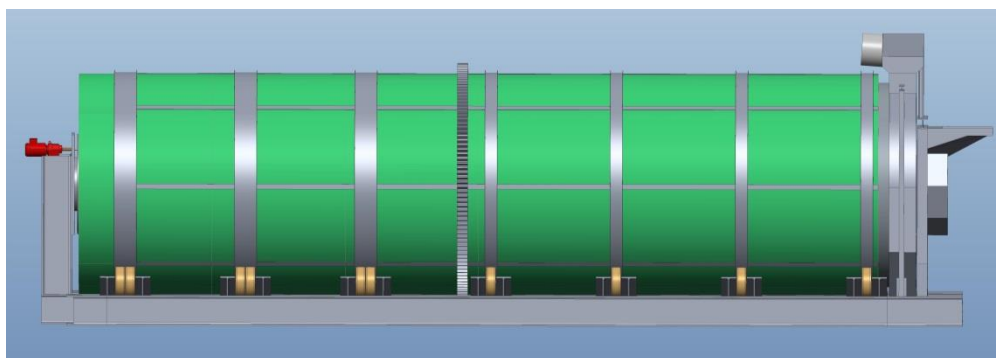
In onderstaande figuren 103 tot 109 is de volledige droogtrommel met geïntegreerde metaalverwijdering te zien aan de hand van enkele gewone aanzichten en doorsneden. Zie ook de 3D-tekeningen in de bijlage op CD.



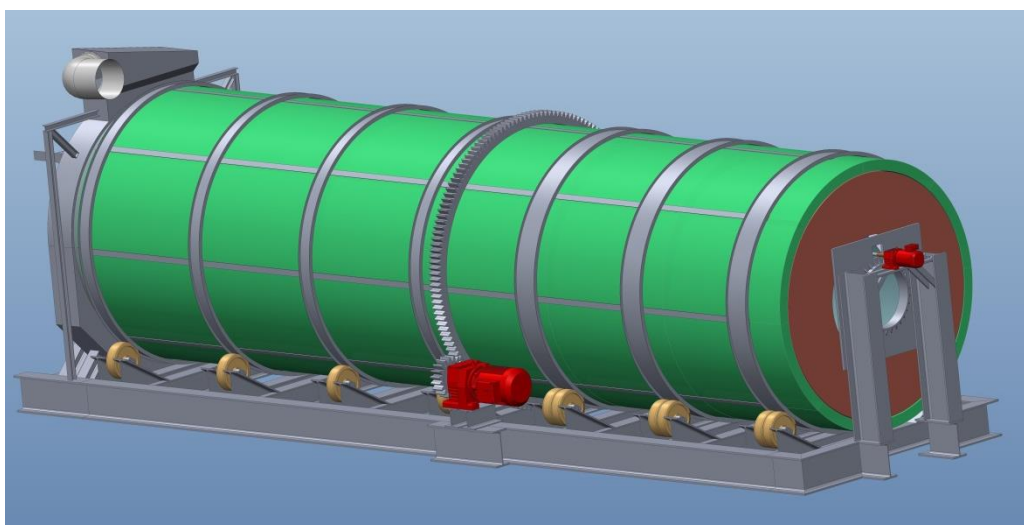
Figuur 103: Bovenaanzicht droogtrommel



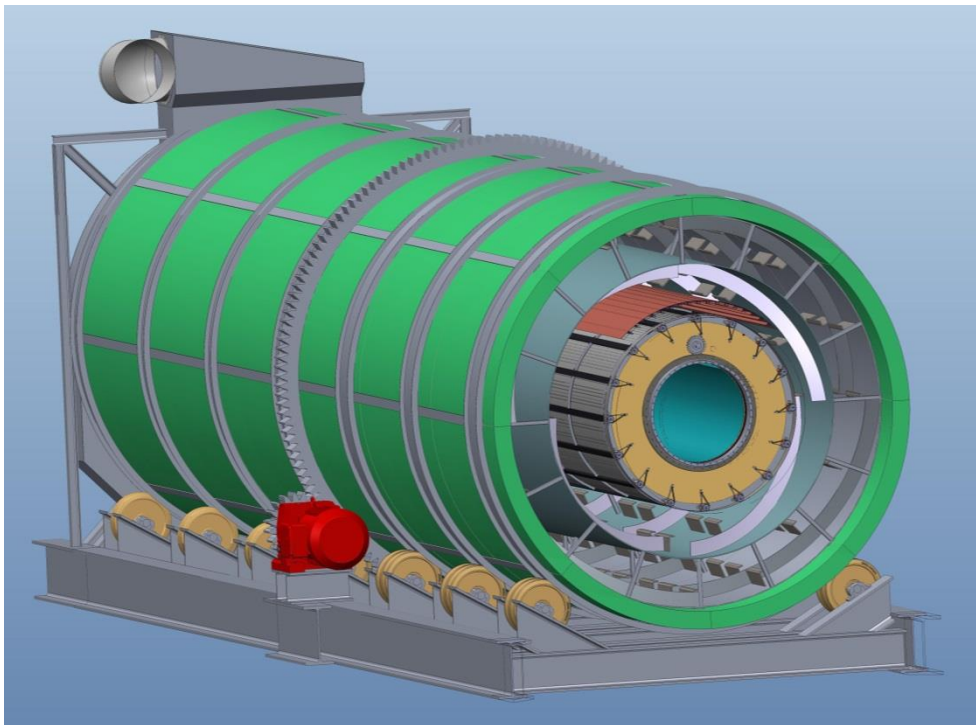
Figuur 106: 3D schuin zij aanzicht voorkant droogtrommel



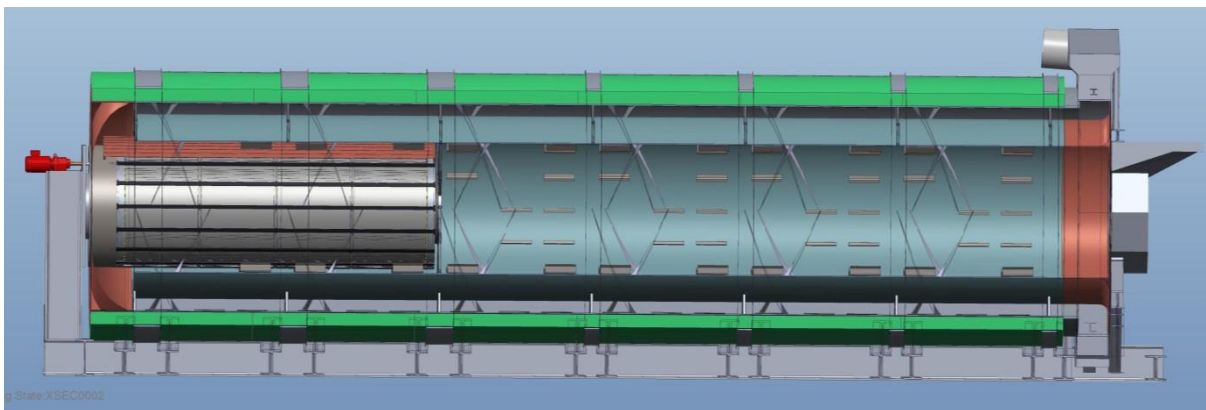
Figuur 105: Linkerzij aanzicht droogtrommel



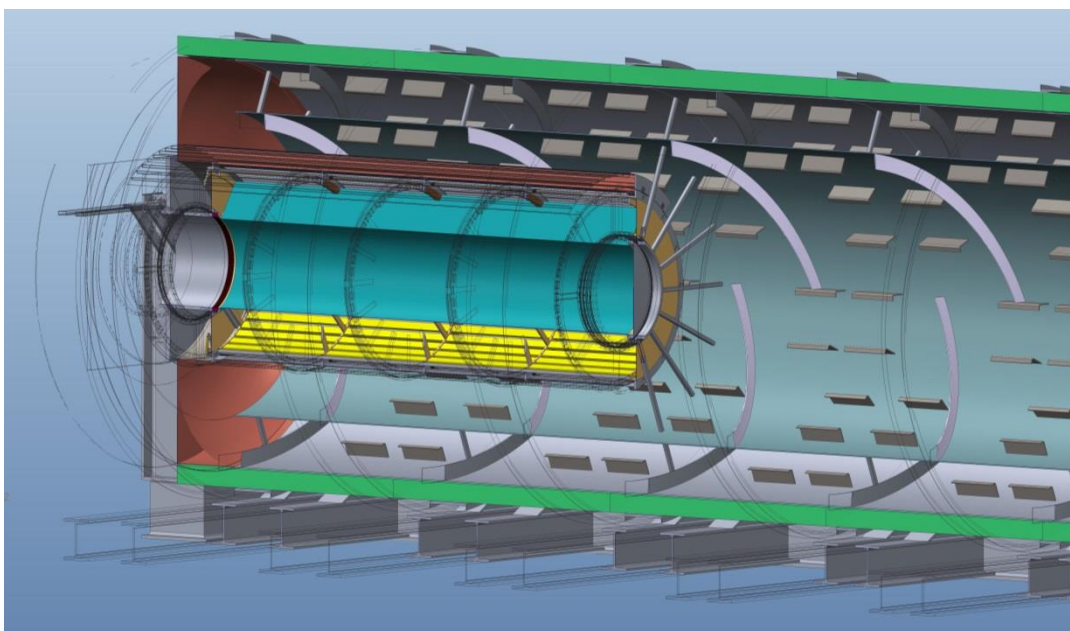
Figuur 104: 3D schuin zij aanzicht achterkant droogtrommel



Figuur 109: Visualisatie plaatsing magneettrommel in droogtrommel



Figuur 107: Doorsnede linkerzij aanzicht



Figuur 108: Midden doorsnede droogtrommel en magneettrommel

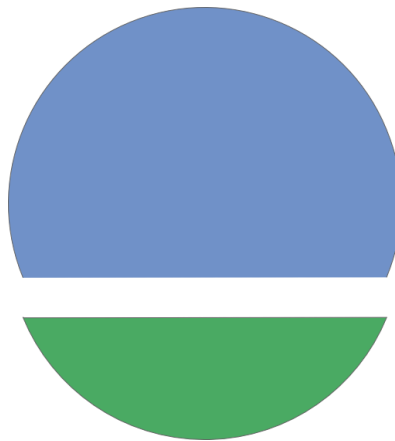
5.1.6 Berekeningen

- **Debiet**

Het maximale debiet dat er in de droogtrommel verwerkt kan worden berekenen we aan de hand van de kleinste trommel. Deze heeft een diameter van 3 meter.

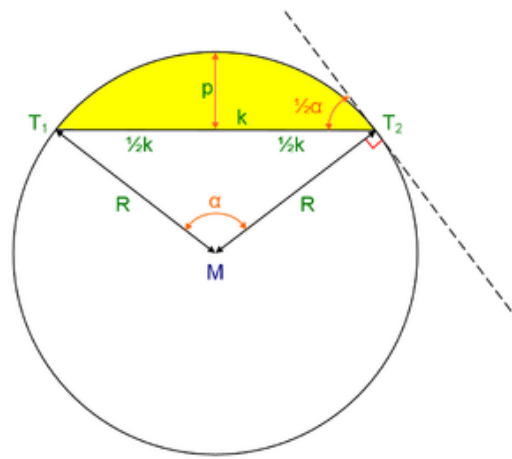
Om te voldoen aan de eisen die gesteld werden in hoofdstuk 4.2 moet de droogtrommel met geïntegreerde metaalverwijdering minimum een debiet van 50m^3 per uur of meer kunnen verwerken. Wat overeenkomt met een minimaal verwerkingsdebiet van 0.83 m^3 per minuut.

Dit debiet hangt af van de draaisnelheid van de trommel, de afmetingen van de spiralen en de spoed van de spiralen. De hoogte van de spiraal in de trommel geeft ons de maximale hoogte dat het afval kan bereiken om zich door de trommel te verplaatsen. Aan de hand van deze hoogte van de schotten van de spiraal en de spoed kan het volume wiskundig bepaald worden dat het afval zal innemen tussen 2 schotten van de spiraal. (Figuur 110)



Figuur 110: Cirkelsegment

De eerste stap is het bepalen van de geprojecteerde oppervlakte in de trommel. Dit kan redelijk eenvoudig bepaald worden door gebruik te maken van de formules voor het berekenen van cirkelsegmenten. Hiervoor is straal en hoogte van de spiralen nodig. De straal van de kleinste trommel ligt vast op 1,5 meter en de hoogte van de spiralen op 0.15m. Aan de hand van deze twee gegevens kan dan de oppervlakte van het cirkel segment bepaald worden.



$$\alpha = 2 \arccos \left(1 - \frac{p}{R} \right)$$

Figuur 111: Berekening cirkelsegment

Met een $P = 0.15\text{m}$ en $R = 1,5$ geef dit een α van $0,902054$ radialen. (Figuur 111)
Vervolgens kan dan met deze α de oppervlakte bepaald worden doormiddel van de volgende formule:

$$A = \frac{1}{2} R^2 (\alpha - \sin \alpha)$$

Uiteindelijk geeft dit een geprojecteerde oppervlakte van $0,132133 \text{ m}^2$ dat het afval zal innemen in de trommel. Hier opvolgend kan nu ook het volume bepaald worden door rekening te houden met de spoed van de spiraal. Maar omdat er hier gebruik gemaakt wordt van spiralen die niet volledig rond zijn houden we enkel rekening met de afstand die het afval aflegt als het door een gedeeltelijke spiraal voortgeduwd wordt. De spiralen hebben normaal een spoed van 4 meter maar omdat hier maar een kwart gebruikt wordt zullen we rekenen met 1 meter verplaatsing per omwenteling. Als dit vermenigvuldigd wordt met het geprojecteerd oppervlakte wordt er een volume verkregen van 0.132133 m^3 . Dit betekent dat per omwenteling dat de trommel doet, 0.132133 m^3 afval 1 meter aflegt doorheen de trommel. Dit is in het slechtste geval omdat er altijd materiaal in bewegingen is door de schoepen in de droogtrommel.

Om te voldoen aan 0.83 m^3 per minuut moet de droogtrommel dus 6.3 omwentelingen per minuut realiseren. Het toevoegen van meer spiralen met de zelfde spoed zal deze waarde niet doen variëren. Er zijn dus altijd 6.3 omwentelingen per minuut nodig ongeacht het aantal spiralen.

Omdat we een zekerheid willen inbouwen gaan we toch een snelheid van 8 omwentelingen per minuut aanhouden. Dit doen we om te verzekeren dat de trommel altijd het gewenste debiet zal halen. Maximaal wordt er dan een debiet van $63,24 \text{ m}^3/\text{uur}$ gehaald.

- **Tandwielverhoudingen**

De belangrijkste formule voor het bepalen van de tandwielverhoudingen is :

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} = \frac{z_2}{z_1}$$

Hierin is i de tandwielverhouding, n het toerental, r de straal van de rolcirkel van de tandwielen en z het aantal tanden. Omdat we de droogtrommel rechtstreeks zullen aandrijven met een motor is de straal voor het grote tandwiel gekend. Deze straal van de rolcirkel is zelf gekozen en komt overeen met waarden in de praktijk. [37] Eveneens kennen we ook het gewenste toerental. In Bijlage C kan men vinden dat het toerental van de aandrijvende motor 63 tr/min bedraagt. Als we dit invullen kunnen we de diameter van het aandrijvende tandwiel bepalen.

$$\frac{63 \text{ tr/min}}{8 \text{ tr/min}} = \frac{2370 \text{ mm}}{r_1} \rightarrow r_1 = 301 \text{ mm}$$

Datzelfde stramien volgen we voor het berekenen van het aandrijvende tandwiel van de magneettrommel. Deze trommel draait liefst iets sneller dan de droogtrommel om het metaal beter te kunnen verwijderen. Daarom is het toerental van de magneettrommel op 12 omwentelingen per minuut gelegd. In Bijlage D kan men vinden dat het toerental van de aandrijvende motor voor de magneettrommel 77 tr/min bedraagt. De vertanding op de lager van de magneettrommel wordt aangedreven door het tandwiel van de aandrijfmotor. Van deze lager zijn ook de gegevens gekend.

(Bijlage F)

$$\frac{77 \text{ tr/min}}{12 \text{ tr/min}} = \frac{592 \text{ mm}}{r_1} \rightarrow r_1 = 92.26 \text{ mm}$$

- **Totaal gewicht**

Met behulp van het tekenprogramma Creo PTC kan voor ieder onderdeel het volume bepaald worden. Aangezien alles uit S235JR staal gemaakt is moet het totaalvolume enkel vermenigvuldigd worden met het soortelijk gewicht, 7850 kg/m³. Voor de I-profielen maken we gebruik van tabellen.[53]

Voor de grootste trommel, inclusief aanhangende onderdelen, komt het uit op een totaal volume van 3,48991 m³. Dit resulteert in een gewicht van 27395,8 kg. Aan deze grootste trommel hangen ook nog 8 I-profielen volgens de DIN 1025-5 norm IPE 200. Deze profielen wegen 22,4 kg/m. De totale lengte van alle deze profielen samen is 122, meter wat een gewicht van 2732,8 kg.

De kleinere trommel met een diameter van 3 meter zal uiteraard lichter zijn. Indien hier alle volumes van worden opgeteld en vermenigvuldigd met het soortelijk gewicht komen we uit op 14092,3 kg.

Ditzelfde stramien geldt ook voor de magneettrommel. Echter gebruikt men hier geen S235JR maar AISI 316L. Deze roestvaste staalsoort heeft een soortelijk gewicht van 7950 kg/m³. Door het gevonden volume van 0,7083 m³ te vermenigvuldigen met dit soortelijk gewicht komt de magneettrommel uit op een totaalgewicht van 5631,2 kg.

Het ondersteunende frame maakt vooral gebruik verschillende I-profielen. Om het frame sterk genoeg te maken is er gekozen voor grote profielen. Deze zullen dan ook het grootste deel van het gewicht zullen zijn en gaan we ook enkel deze nuttige gewichten berekenen. Het gewicht berekenen van het frame heeft verder ook geen nut in deze masterproef.

Als eerste hebben we een totale lengte van 45,51 meter voor het grootste profiel volgens DIN 1025-2 norm IPB 600. Vervolgens is er 63 meter volgens DIN 1025-2 norm IPB 400. Dan is er nog 15,1 meter van het I-profiel volgens de norm DIN 1025-2 IPB 200. En als laatste is er 14,1 meter IPB 100 volgens dezelfde norm DIN 1025-2.

Als het gewicht per meter van alle profiel wordt vermenigvuldigd met de overeenkomstige lengtes bekomen we een totaalgewicht van 20626,4 kg.

De volledige droogtrommelconstructie weegt dus:

$$27395,8 + 2732,8 + 14092,3 + 5631,2 + 20626,4 = 70478,5 \text{ kg}$$

- **Doorbuiging**

Omdat de interne magneettrommel gelagerd is zowel binnenin de droogtrommel als aan de vaste eindplaat mag er geen doorbuiging zijn van de droogtrommel. Voor de berekening van de doorbuiging worden er eerst een paar aannames gemaakt. Deze dienen er voor het rekenproces te versnellen. Ook zorgen zij voor een theoretisch *worst-case-scenario* en zal het resultaat in praktijk veel beter zijn.

Omdat de droogtrommel gelijkmatig ondersteunt wordt zullen we enkel de doorbuiging tussen twee steunpunten berekenen. Ook zullen er maar twee van de acht I-profielen in rekeningen gebracht worden die rondom de grootste trommel zijn bevestigd. Deze vereenvoudiging is ook gekozen om de berekeningen te vergemakkelijken en omdat de twee profielen in het zelfde verticale vlak toch de meeste krachten zullen opnemen.

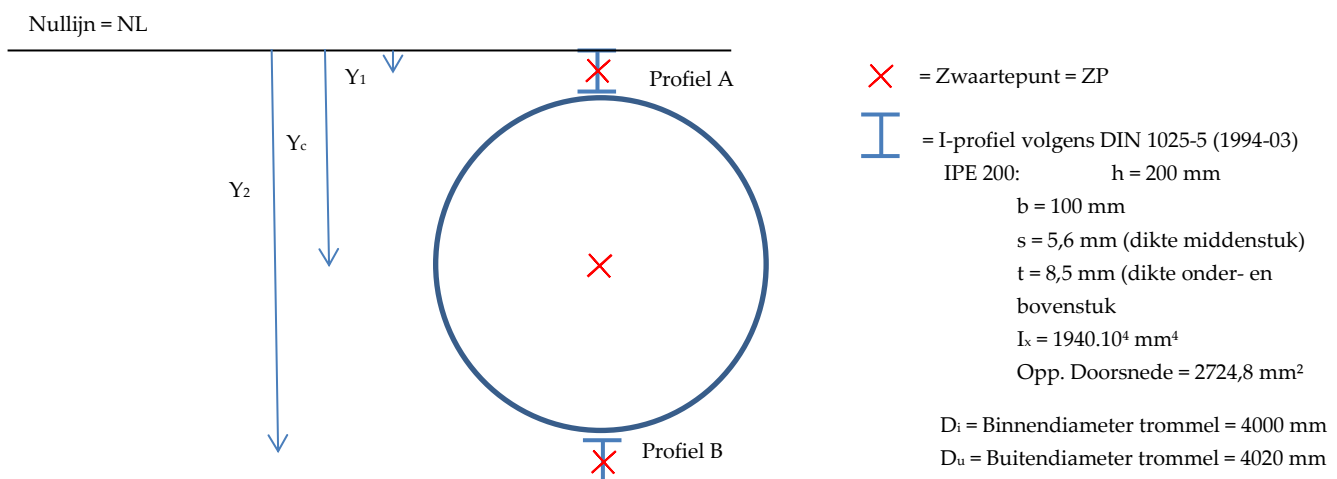
Allereerst berekenen we de verdeelde belasting over de hele droogtrommel. Dit wordt berekend met behulp van het gewicht van het draaiende gedeelte van de gehele droogtrommel dat in het vorige puntje al berekend is geweest. We nemen hiervoor het gewicht van de kleine trommel, de grote trommel, de magneettrommel en alle externe delen die aan de trommel zijn bevestigd. Deze hele optelling geeft een *worst-case-scenario* weer aangezien de magneettrommel niet over de gehele lengte van de droogtrommel loopt. Uiteindelijk komt dit uit op een gewicht van: $27395,8 + 2732,8 + 14092,3 + 5631,2 = 49852,1 \text{ kg}$. Voor het eenvoudig rekenen nemen we 50000 kg en een valversnelling van 10 m/s^2 .

Uiteraard moeten we ook het afval dat al in de trommel zou zitten in rekening brengen. Hierbij moeten we zoals bij de berekening van het debiet rekening houden met de afmetingen van de spiralen. Omdat deze maar 15 cm hoog zijn zal in de kleinste (3 meter) trommel maximaal een volume van $1,982 \text{ m}^3$ kunnen hanteren en de grote trommel (4meter) een volume van $2,29748 \text{ m}^3$. Omdat voor het te verwerken afval 1 m^3 gelijk staat aan 1000 kg (Hoofdstuk 3.2) kunnen we deze volumes omzetten naar gewichten. De som van deze twee wordt dan $4279,47 \text{ kg}$. Voor het eenvoudig rekenen nemen we hier 4300 kg en een valversnelling van 10 m/s^2 . [54]

Over de 15 meter lange trommel geeft dit een verdeelde belasting van:

$$\frac{(50000 \text{ kg} + 4300 \text{ kg}) * 10 \text{ m/s}^2}{15 \text{ meter}} = 33620 \text{ N/meter}$$

Nu gaan we verder met het uitrekenen van de traagheidsmomenten. Omdat de zwaartepunten van de verschillende onderdelen niet in het zelfde punt liggen zullen we de stelling Steiner moeten toepassen.



$$I_{trommel} = \frac{\pi(D_u - D_i)^4}{64} = 7853,98 \text{ mm}^4$$

$$I_{Totaal} = I_{I-profiel A} + I_{I-profiel B} + I_{trommel} + Opp_A * (y_c - y_1)^2 + Opp_B * (y_c - y_2)^2$$

$$I_{Totaal} = 2 * 1940.10^4 mm^4 + 7853,98 mm^4 + 2724,8 mm^2 * (2210 mm - 100 mm)^2 + 2724,8 mm^2 * (2210 mm - 4320 mm)^2 = 2,43.10^{10} mm^4$$

Tussen 2 steunpunten is er een afstand van 2,5 meter. We gaan er vanuit dat deze sectie volledig ingeklemd is. Voor S235JR staal is de E-modulus 210GPa of wel 210000 N/mm². De verdeelde belasting uitgedrukt in millimeter is 33,62 N/mm = w. Deze gegevens geven we in, in deze formule. v = maximale doorbuiging.

$$v = \frac{w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{totaal}} = \frac{33,62 \frac{N}{mm} \cdot (2500 mm)^4}{384 \cdot 210000 \frac{N}{mm^2} \cdot 2,43 \cdot 10^{10} mm^4} = 0,00067 mm$$

De doorbuiging is praktisch nul. De doorbuiging wordt vooral dankzij de I-profielen die rond de buitenste trommel tegengehouden. Echter is hier gerekend met maar twee I-profielen. De resterende profielen zullen enkel bijdragen aan de stijfheid aangezien deze al zijn ingerekend in het volledige gewicht van de dubbele trommel.

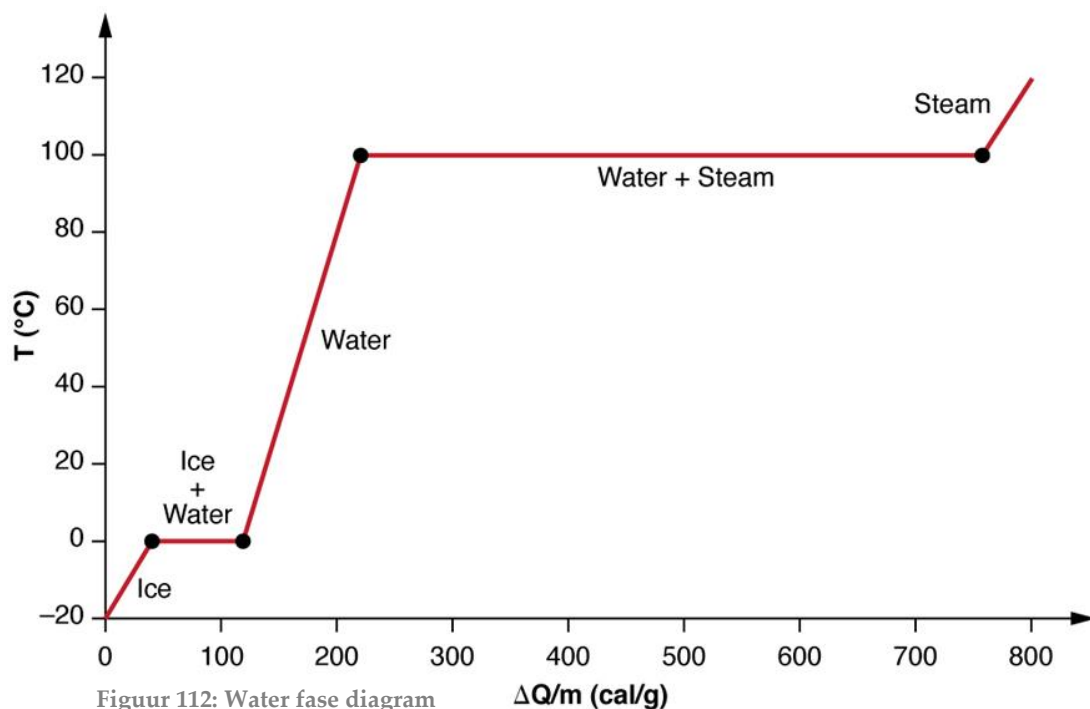
- **Thermische- en lucht debiet berekeningen**

Een eerste stap in het bepalen van de dimensies van een droogtrommel is het bepalen van de thermische energie die nodig is in het droogproces. Er zal gebruik gemaakt worden van warme droge lucht die in de droogtrommel zal circuleren en zo het afval droogt. Om dit te realiseren is een, duidelijk doel nodig. Uit het eisenpakket, en na overleg met externe promotor zijn de volgende gegevens vast gelegd:

- ✓ debiet van 50 ton/uur komt overeen met 50 m³/uur
- ✓ afval bevat 40% water, dit zou verlaagd moeten worden naar 20%
- ✓ afval bevindt zich op kamertemperatuur

Voor het verlagen van het afval van 40 massaprocent water naar 20 massaprocent water zal 20 massaprocent water verdampt moeten worden. Figuur 112 [55] geeft weer dat men niet enkel het water moet verwarmen tot 100°C maar dat er daarna ook nog extra energie moet toegevoegd worden voor het verdampingsproces. Een volledige thermische berekening is geen vereiste binnen deze masterproef. Er wordt dus geen rekening gehouden met verliezen aan de omgeving. Deze verliezen zullen wel reeds ingeperkt worden door de voorziene isolatie.

Indien een volledige thermische analyse gewenst was moest er ook rekening gehouden worden met de verschillende warmte capaciteiten van alle mogelijk verschillende materialen die in het afval kunnen zitten. Dit zijn zeer complexe berekeningen die hier niet nodig zijn aangezien het de bedoeling is enkel een beeld te vormen en geen exacte berekening van het luchtdebiet.



Figuur 112: Water fase diagram

Indien we verder gaan op het gegeven dat 50 ton/ uur afval moet worden verwerkt, en hiervan 20 massaprocent water van moet worden verdampt komen we tot een waarden van 10 ton/uur water dat verdampt moet worden, of 167 kg / min.

Water 20°C - > 100°C

De eerste stap om tot een verdamping te komen is het water er van 20°C naar 100°C te brengen, de energie die hier voor nodig is word bepaald met de formule:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$m = 167 \text{ kg / min}$$

$$c_p = 4.178 \text{ kJ / kg} \cdot \text{K}$$

$$\Delta T = 373 \text{ K} - 293 \text{ K}$$

$$Q = 167 \cdot 4.178 \cdot 80$$

$$Q = 55818 \text{ kJ / min}$$

Er is dus 55818 kJ / min nodig om het water van 20°C naar 100°C te brengen.

Water verdampen

De volgende stap is het bepalen van de energie toevoer die nodig is om 10 ton water aan 100°C te verdampen. (Figuur 113) Hiervoor moeten de begincondities gekend zijn van de lucht die zal dienen om het afval te drogen. Deze worden vastgelegd op 600°C. Via tabellen (Bijlage op CD) kan men bepalen dat water aan 100°C , 2257 kJ /kg aan energie nodig heeft om te verdampen. Met een gewenste verdamping van 167 kg / min komt dit neer op 377.000 kJ / min.

Lucht debiet

Hoe hoger de temperatuur van de lucht , hoe meer energie het bevat. Uit tabellen (Zie bijlage op toegevoegde CD) is af te leiden dat lucht aan 600°C, 607 kJ / kg bevat.

Het verwarmen van het water van 20°C tot 100°C vraagt 55818 kJ/ min, dit komt neer op 92 kg lucht/min.

Uiteindelijk komt het er op neer dat het verdampen 377.000 kJ / min of vraagt. Dit betekend 621 kg/min. Er is dus een totaal lucht debiet nodig van 713 kg / min , of 500m³ /min.

Energieconsumptie

In totaal zal er dus $55.818 \text{ kJ/min} + 377.000 \text{ kJ/min} = 432.818 \text{ kJ/min}$ aan energie nodig zijn om het materiaal te drogen. Omgerekend komt dit uit op $7213,63 \text{ kW}$. Deze waarde lijkt onrealistisch groot maar is het eigenlijk niet. Als we deze waarde vergelijken met een conventionele drooginstallatie, voorbeeld De Boer [56], dan zien we dat deze machine voor $50 \text{ m}^3 / \text{uur}$ normalerwijze 8000 kW zou verbruiken.

De waarde die hier zijn uitgerekend komen dus goed overeen met de werkelijkheid ook al zijn het maar ruwe berekeningen die bedoeld zijn om een beeld te vormen.

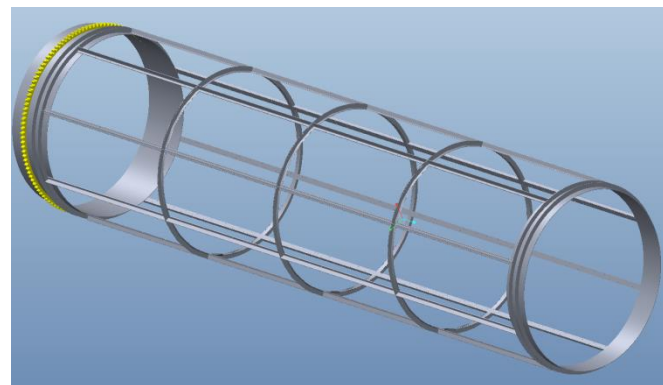
5.2 Trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering

De trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering is een gevolg van het volledige ontwerpproces dat overlopen is in Hoofdstuk 4. Het is de verdere uitwerking van het basisconcept zoals besproken in Hoofdstuk 4.7.1. Bij dit systeem gebeurt het ferrometaal verwijderingsproces juist voor het zevingsproces, waardoor er geen risico meer bestaat dat materialen worden afgezeefd voor dat het ferrometaal wordt verwijderd. Dit in tegenstelling tot de meeste andere systemen die vermeld staan in Hoofdstuk 4.7 Basisconcepten. Er wordt met dit systeem gebruik gemaakt van een rotatiebeweging zodat het zevings- en ferrometaal verwijderingsproces kan gebeuren in één handeling.

5.2.1 Trommelzeef

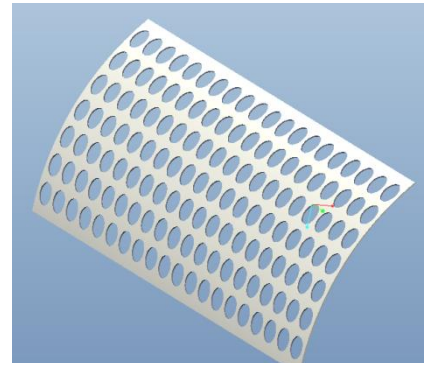
Aan de trommelzeef zijn weinig aanpassingen gebeurd. Er zijn enkel verschillen met een standaard trommelzeef qua constructie. Standaard trommelzeven bestaan vaak uit halve cirkelsegmenten die met gaten worden voorzien. Door het aan elkaar lassen van deze segmenten wordt dan de trommel gevormd. De segmenten fungeren hierdoor tegelijkertijd als ondersteunende constructie en als scheider. In de trommelzeef die werd voorgesteld aan Group Machiels is er een duidelijk onderscheid gecreëerd tussen deze twee elementen.

Er is de keuze gemaakt, om gebruik te maken van een stalen skelet dat afgebeeld wordt in Figuur 113. In de lengterichting bestaat deze uit T-profielen die dienen ter versteviging tegen het doorbuigen en het verbeteren van de stijfheid. Op de uiteinden worden twee massieve ringen voorzien ter bevestiging en ondersteuning van deze T-profielen. De massieve eindstukken dienen er tegelijkertijd ook als geleiding van de wielen die de constructie ondersteunen. Op identieke intervallen worden ook in totaal drie ringen voorzien voor het vergroten van de stijfheid van de trommelzeef. Om de afvalstroom genoeg tijd te geven om gezeefd te worden is de trommel gedimensioneerd met een diameter van 2 meter en een zeeflengte van 10 meter.



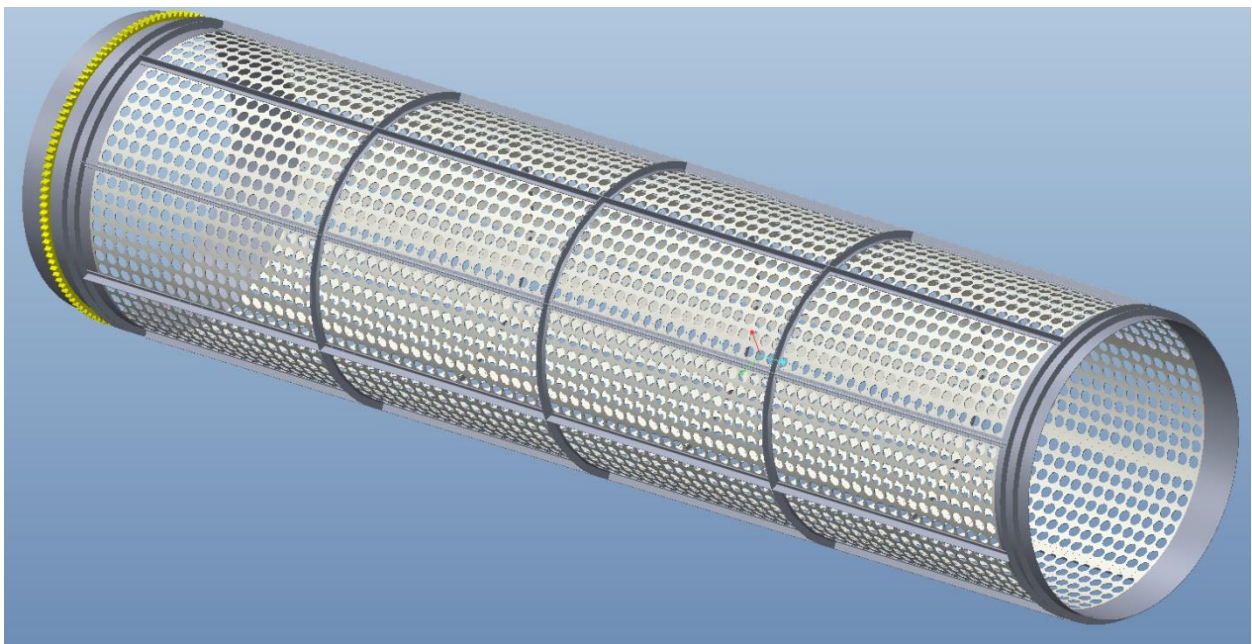
Figuur 113: Trommelzeef stalen skelet

Voor de zeef werking van de trommelzeef worden platen met gaten voorzien om deze functie te vervullen (Figuur 114). Deze platen kunnen dan als inzetstukken verbonden worden met het stalen skelet doormiddel van klinknagels. Hierdoor ontstaat tevens de mogelijkheid om in het geval van schade elk paneel afzonderlijk te vervangen zonder de trommel te moeten verwijderen uit de installatie. Dit in tegenstelling tot de meeste standaard zeven zoals blijkt uit het Hoofdstuk 3 met het gebruik van de testzeef.



Figuur 114: Plaatsectie voor zeven

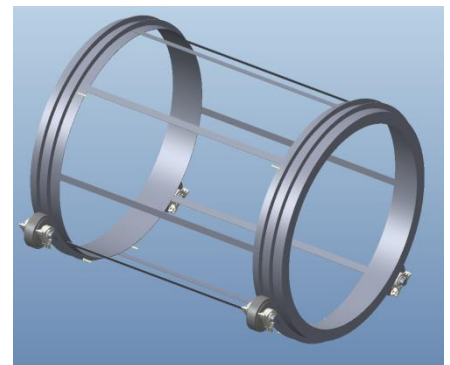
Na het combineren van al deze elementen wordt er een zeer stijve constructie gecreëerd die uitermate geschikt is voor het zeven van de afvalstroom. Er is nog geen sprake geweest van de aandrijving van dit systeem om de trommelzeef met interne magneet te laten ronddraaien. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een 15 kW motor. (Bijlage G) Voor het overdragen van deze energie aan de trommel wordt een groot tandwiel voorzien op het eindstuk van de trommel, deze is in het geel afgebeeld op Figuur 115 en staat in verbinding met de motor doormiddel van een ketting. Een ketting vergt wel iets meer onderhoud in tegenstelling tot andere mogelijkheden maar heeft als voordeel dat het een zeer hoog overbrengingsrendement heeft en slijprij is. De voornaamste reden voor het gebruik van een ketting is de lagere gevoeligheid voor hoge temperaturen, vocht en vuil. Iets wat pertinent aanwezig is in deze installatie in tegenstelling tot de aandrijving van de droogtrommel die hiervan vrijwaart blijft.



Figuur 115: Trommelzeef

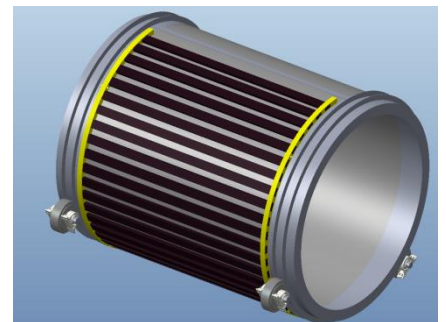
5.2.2 Magneetsysteem

Dit gedeelte staat in voor de verwijdering van het ferromagnetisch materiaal alvorens het in het zeefgedeelte terecht komt. Er wordt opnieuw gebruik gemaakt van een stalen skelet als basis. Deze bestaan uit twee massieve eindstukken en acht verbindingsarmen waaraan de platensegmenten worden verbonden om de afvalstroom door te laten lopen. De constructie van het magneetsysteem heeft een lengte van 2 meter. Er is slechts een beperkte lengte nodig in vergelijking met de trommelzeef voor het efficiënt scheiden van ferrometalen. Uiteraard blijft de diameter dezelfde als de zeeftrommel. (Figuur 116)



Figuur 116: Stalen skelet magneetsysteem

Verder is er ook een stilstaand gedeelte bestaande uit twee gele magneethouders en zwarte baarmagneten die langs de helft van het manteloppervlakte lopen zoals afgebeeld in Figuur 117. Door de magnetische kracht van de baarmagneten blijft het ferromagnetisch materiaal tegen de wand van de trommel. Op deze manier kan door het roteren van de trommel het ferromagnetisch materiaal mee omhoog genomen worden volgens draairichting van de trommel. Het ferromagnetisch materiaal blijft aan de wand hangen zolang dat er zich magneten bevinden aan de andere zijde van de trommelwand.

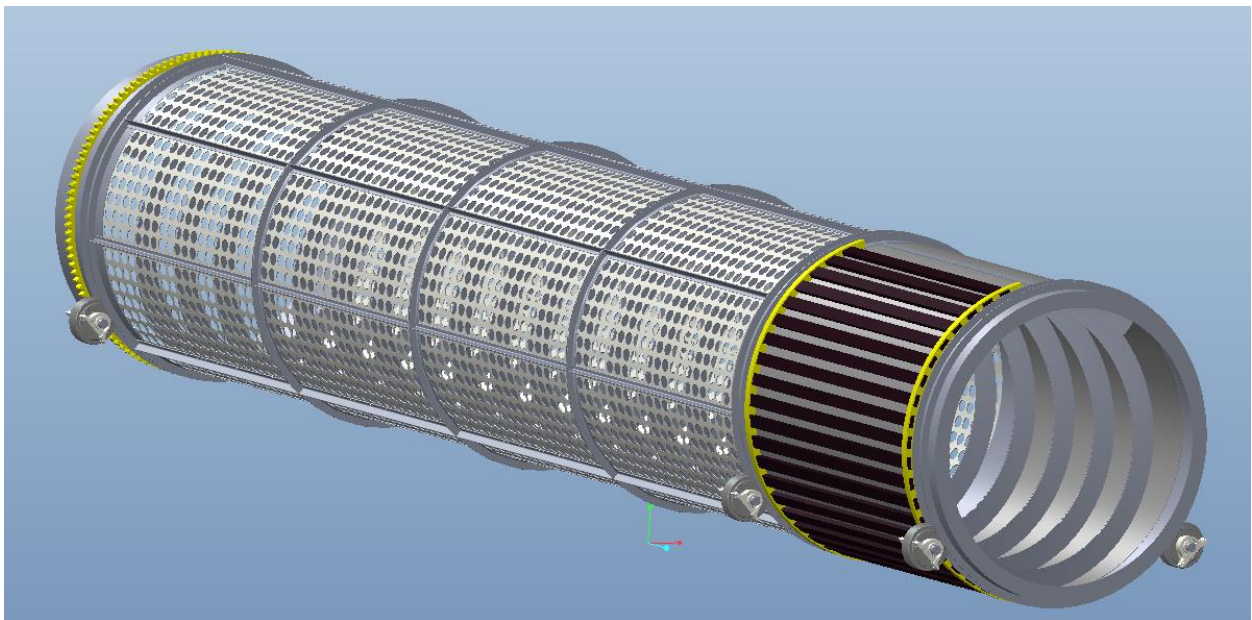


Figuur 117: Magneet systeem

Omdat dit stuk enkel dient voor het scheiden van het metaal zijn er in de plaatsegmenten van het magneetsysteem geen gaten voorzien. Op deze manier wordt er vermeden dat er ferromagnetisch afval afgezeefd wordt voordat de magneetscheiding kan plaatsvinden. Een tweede groot verschil met de componenten van het magneet systeem in tegenstelling tot de trommelzeef, is dat deze uitgevoerd worden uit roestvast staal. Roestvast staal met 6 tot 26% nikkel is austenitisch. Dit betekent dat roestvast staal een austenitische kristalstructuur heeft die ervoor zorgt dat het niet magnetisch is. De reden hiervoor is om te vermijden dat de constructie gemagnetiseerd wordt. Indien dit zou voorkomen, blijven ferrometalen aan de oppervlakte hangen zolang dat de magnetische aantrekkingskracht groter is dan de zwaartekracht. Vooral kleine delen zullen hierdoor nooit afgescheiden kunnen worden met als gevolg dat de efficiëntie daalt van het magneetsysteem. Wat dus zeker niet gewenst is.

Na het samenvoegen van deze twee hoofdcomponenten wordt het werkend deel van de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering verkregen. De massieve middencirkel fungeert hierbij als koppelstuk tussen de twee componenten. Ten slotte wordt hier nog een tweevoudige spiraal van 15 cm hoog aan toegevoegd die zichtbaar is in figuur 118. Beide spiralen bezitten een spoed van 1 meter en staan in voor de doorvoer van het materiaal doorheen de trommel. Zonder deze spiraal zou er geen vooruitgang zijn in de afvalstroom die zich bevindt in de trommel aangezien de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering niet onder een helling geplaatst wordt. De helling zou problemen geven voor de afvoervoorziening van het ferromagnetisch materiaal dat gezeefd wordt. Verdere informatie is hierover te vinden in Hoofdstuk 5.2.5.

Verder gaand op de spiraal is deze zo ingesteld dat bij een rechts omdraaiende omwenteling van de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwerking de afvalstroom zich één meter naar achter verplaatst doorheen deze trommel. Afhankelijk van het toerental gecombineerd met deze spiraal is het ook eenvoudig om het debiet te regelen. De spiraal zelf is in 2 segmenten gesplitst aangezien het magnetisch gedeelte uitgevoerd wordt uit roestvast staal om te vermijden dat gemagnetiseerd wordt. Voor de rest van de zeeftrommel is dit niet nodig en zal de spiraal vervaardigd worden uit S235JR.



Figuur 118: Trommelzeef met magneetsysteem

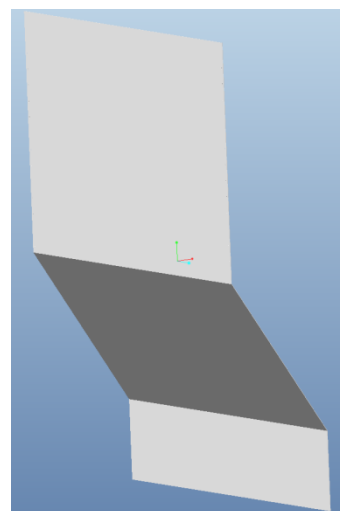
5.2.3 Frame en afvoer voor afgezeefde fractie

In figuur 120 is het frame en afvoer voor de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering afgebeeld. Het frame zelf bestaat uitsluitend uit I- en U-profielen en is doormiddel van bouten aan elkaar gehecht. Door het frame niet aan elkaar te lassen is het mogelijk om de constructie eenvoudig ter plaats en op te bouwen waardoor er geen groot transport zal nodig zijn om het frame van de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering naar de locatie te brengen. Door het frame ook niet als één vaste constructie te maken, kunnen er stukken vervangen worden indien nodig. Hierdoor wordt het onderhoud van de installatie bij schade vereenvoudigd en kan de inrichting terug worden afgebroken mocht de noodzaak hiervoor ontstaan.

Verder zijn er op dit frame ook 6 wielen aanwezig die de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering ondersteunen en het de mogelijkheid geeft aan de trommelzeef met geïntegreerde metaal verwijdering om te roteren. Deze 6 wielen lopen in de geleidingen die voorzien zijn op de 3 massieve ringen van de trommel die heel het werkend deel van de trommelzeef met geïntegreerde metaalscheiding ter plaatse houden.

Elk van deze 6 wielen zijn hoge capaciteitswielen van de fabrikant Blickle met een draagvermogen van 15.000 kg per stuk. Door deze zeer slijtvaste wielen en de overdimensionering is er geen enkel probleem om de 3000 kg van de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering te dragen. Verdere informatie over deze wielen is te vinden in de datasheet in bijlage H.

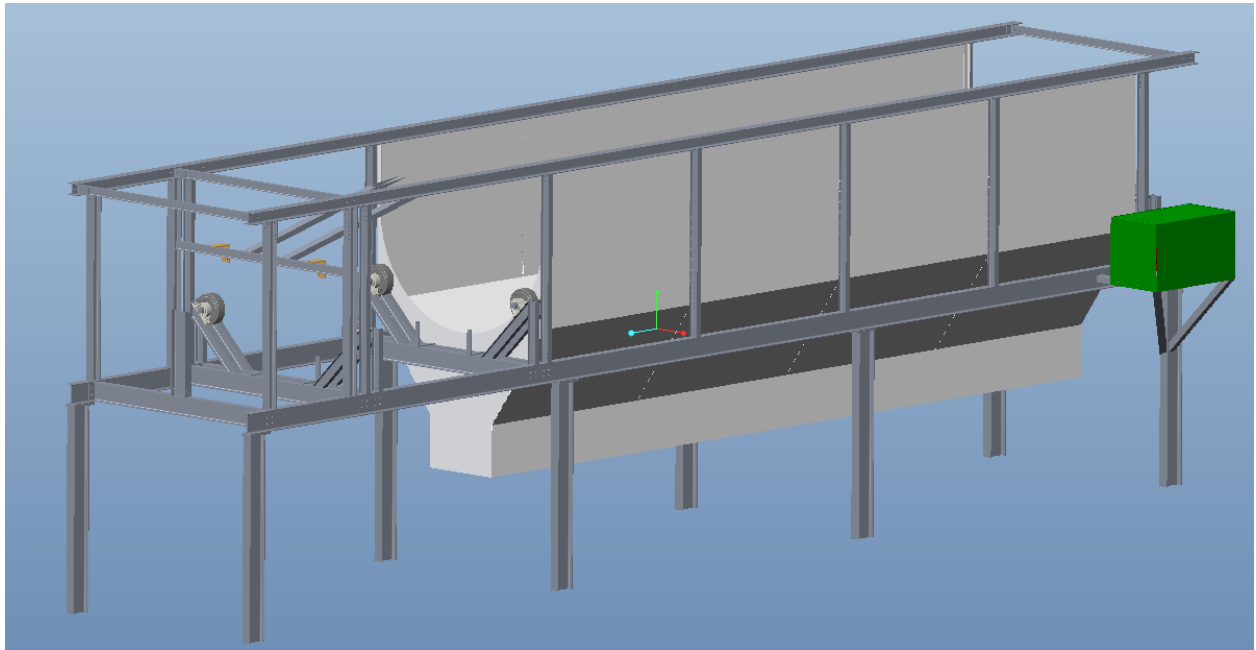
Vervolgens wordt ook de afvoer van de afgezeefde fractie met bouten verbonden aan het frame. Deze afvoer is opgebouwd uit 8 gebogen zijplaten zoals afgebeeld in Figuur 119. Ze vormen samen met een voor- en achterstuk een bak met een geconcentreerde opening onderaan. Op deze manier wordt vermeden dat na het afzeven, het materiaal verspreid geraakt en bovendien zorgt de geconcentreerde opening onderaan ervoor dat er op een eenvoudige manier afval kan afgevoerd worden door middel van een transportband of een ander mogelijk systeem.



Figuur 119: Afvoer plaat

Als laatste is er ook een platform voorzien aan de rechter achterkant waar de 15 kW motor op wordt gemonteerd om de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering aan te drijven via een ketting. Hierboven is een groene afdekplaat geplaatst ter bescherming van de aandrijfmotor.

Al deze componenten zijn samengevoegd en terug te vinden in Figuur 120.



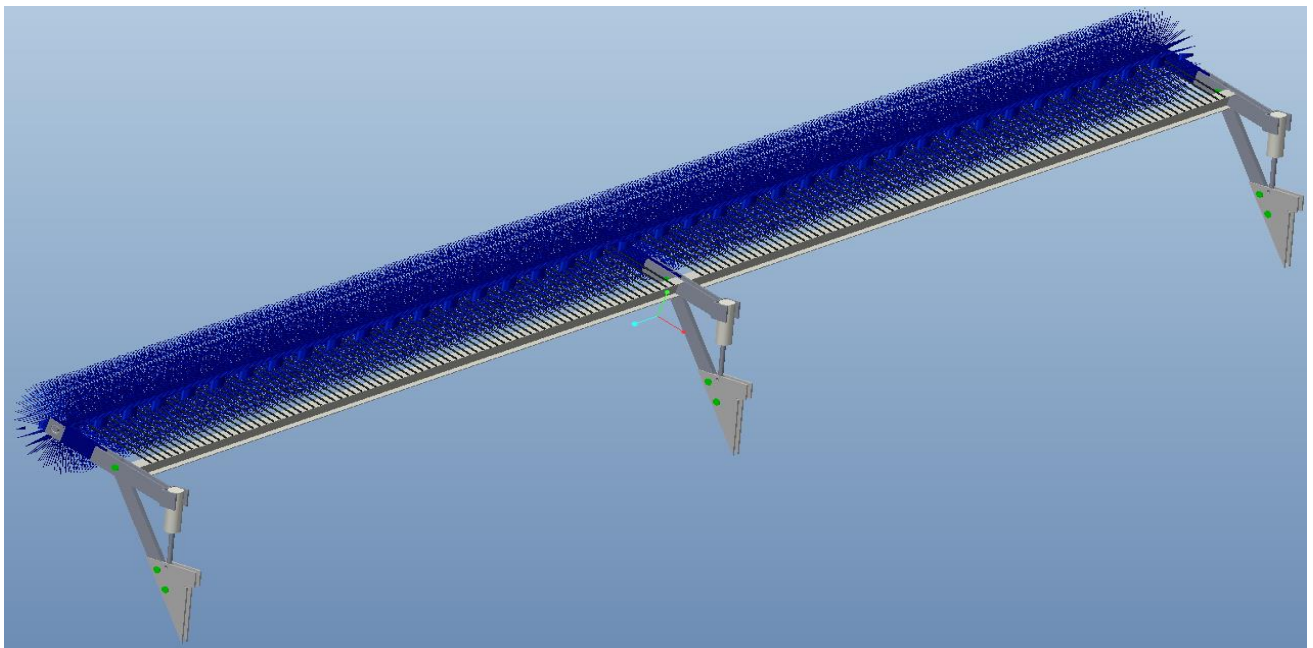
Figuur 120: Frame met afvoerbak

5.2.4 Borstelsysteem

Een vaak voorkomend probleem bij het zeven in trommels is dat er bepaalde stukken materie in de gaten kunnen blijven steken en hierdoor verstoppingen kunnen veroorzaken. Meestal is het roteren van de trommelzeef genoeg om ervoor te zorgen dat deze elementen terug los komen van de ingeklemde positie. Dit is echter niet het geval voor alle stukken. Hierdoor bestaat het gevaar dat er meer en meer elementen blijven steken over langere periodes waardoor de efficiëntie van het zeefproces daalt. Om dit op te lossen kan er gebruik gemaakt worden van een grote borstel die uitwendig over de hele lengte van de trommelzeef loopt.

Dit borstelsysteem afgebeeld in figuur 121 zorgt ervoor dat alle materie die blijft hangen in de trommelzeef verwijderd wordt door extern over het oppervlakte te rollen. Het is echter ook mogelijk dat materialen uit de afvalstroom zoals draden en andere stukken blijven hangen in deze borstel. Om dit te voorkomen is gebruik gemaakt van een zwarte borstelkam, zichtbaar op figuur 121 en 122.

De borstels lopen doorheen deze kleine zwarte staven waardoor al het materiaal dat hieraan bleef hangen kan worden verwijderd. Door deze toevoeging blijft het onderhoud beperkt.

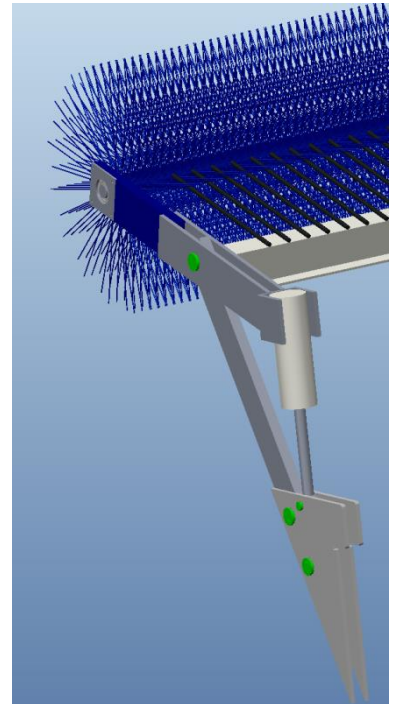


Figuur 121: Borstel systeem

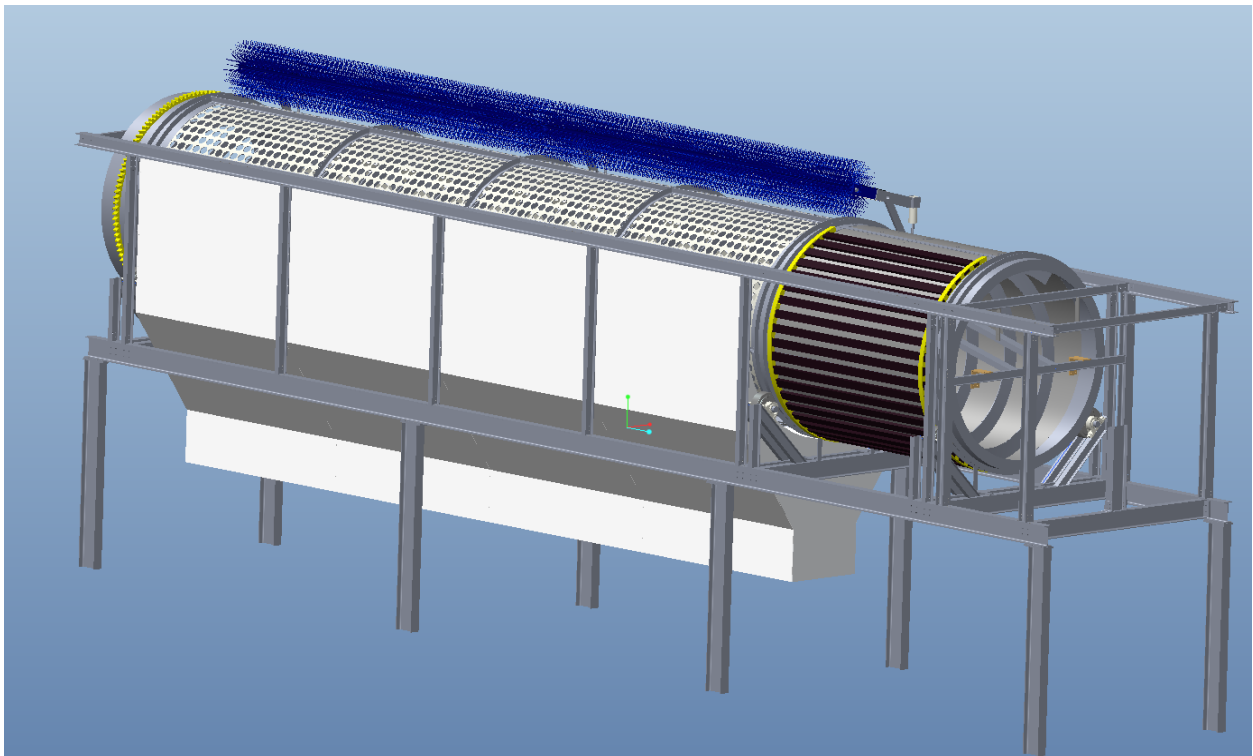
Voor de constructie van het borstelsysteem is er gekozen voor een lichte vorm van flexibiliteit en instelbaarheid. Dit is mogelijk gemaakt door een pivoterende baar te voorzien waar enerzijds de as van de borstel aan verbonden is en anderzijds een regelbare schokdemper. De flexibiliteit die komt van de schokdempers geeft de borstels enige beweegbaarheid om oneffenheden die als gevolg van materie die vaststeken eenvoudig te overwinnen en is hierdoor gunstig voor de levensduur van het systeem.

Ten tweede heeft de instelbaarheid van de schokdempers als voordeel dat de afstand tussen de borstel en de trommelzeef regelbaar is. Door het intensief schuren van de borstels over de externe oppervlakte van de trommelzeef zal diameter van de borstel na een bepaalde tijd verkleinen en geen contact meer maken waardoor er geen verwijdering meer gebeurt van het materiaal dat vast steekt. De regelbaarheid van de schokdempers lost dit op en laat toe om de borstels terug dichtbij te bewegen. Hierdoor kan men veel langer doen met dezelfde borstel en moet hierdoor minder vaak vervangen te worden.

In figuur 123 is zichtbaar hoe het borstelsysteem over de oppervlakte loopt van de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering na bevestiging aan het frame.



Figuur 122: Pivoterende baar

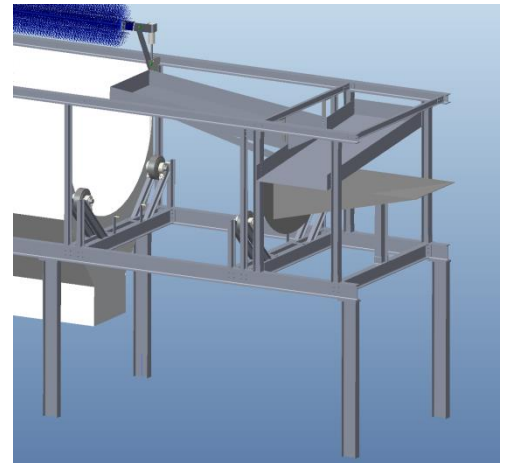


Figuur 123: Frame met trommelzeef, magneetsysteem en borstelsysteem

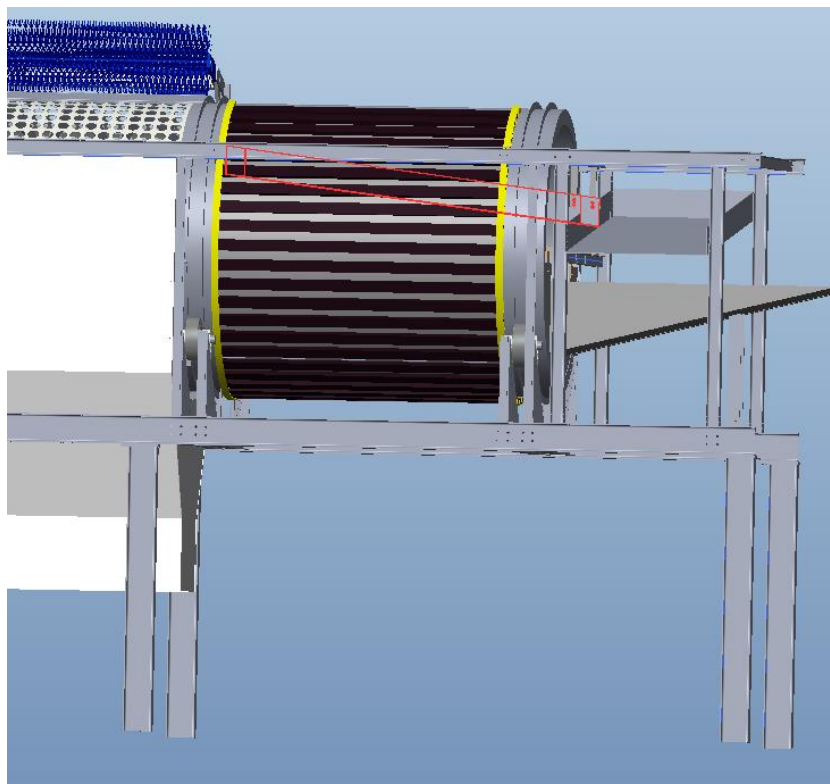
5.2.5 Afvoer van ferrometalen

Voor het ferromagnetisch materiaal dat gescheiden wordt door de metaalverwijdering, zal een aparte afscheiding moeten worden voorzien om hermenging van de afgescheiden fractie met de afvalstroom te vermijden. Deze zal zich moeten bevinden binnen in de trommel zelf. (Figuur 124 en 125)

Als gevolg van de beperkte ruimte in de trommel en het feit dat het heel moeilijk is om ondersteuning te voorzien voor het gedeelte van de ferrometalen afvoer is er gekozen voor een zo licht en simpel mogelijke oplossing. Door gebruik te maken van metalen bakken die als schuiven dienen wordt voldaan aan de eis om het zeer licht te houden en tegelijk wordt het ook zeer simpel gehouden door de bakken onder een lichte helling te plaatsen. Hierdoor wordt het materiaal onder invloed van de zwaartekracht vanzelf afgevoerd. Door de zwaartekracht te gebruiken als uitwendige kracht voor de verplaatsing wordt dus vermeden dat een grote en zware constructie moet worden gebruikt. Er zal echter nog verder onderzocht moeten worden of de helling van de schuiven groot genoeg is voor het afvoeren, of dat er een extra trilling zal moet worden voorzien op de schuiven.



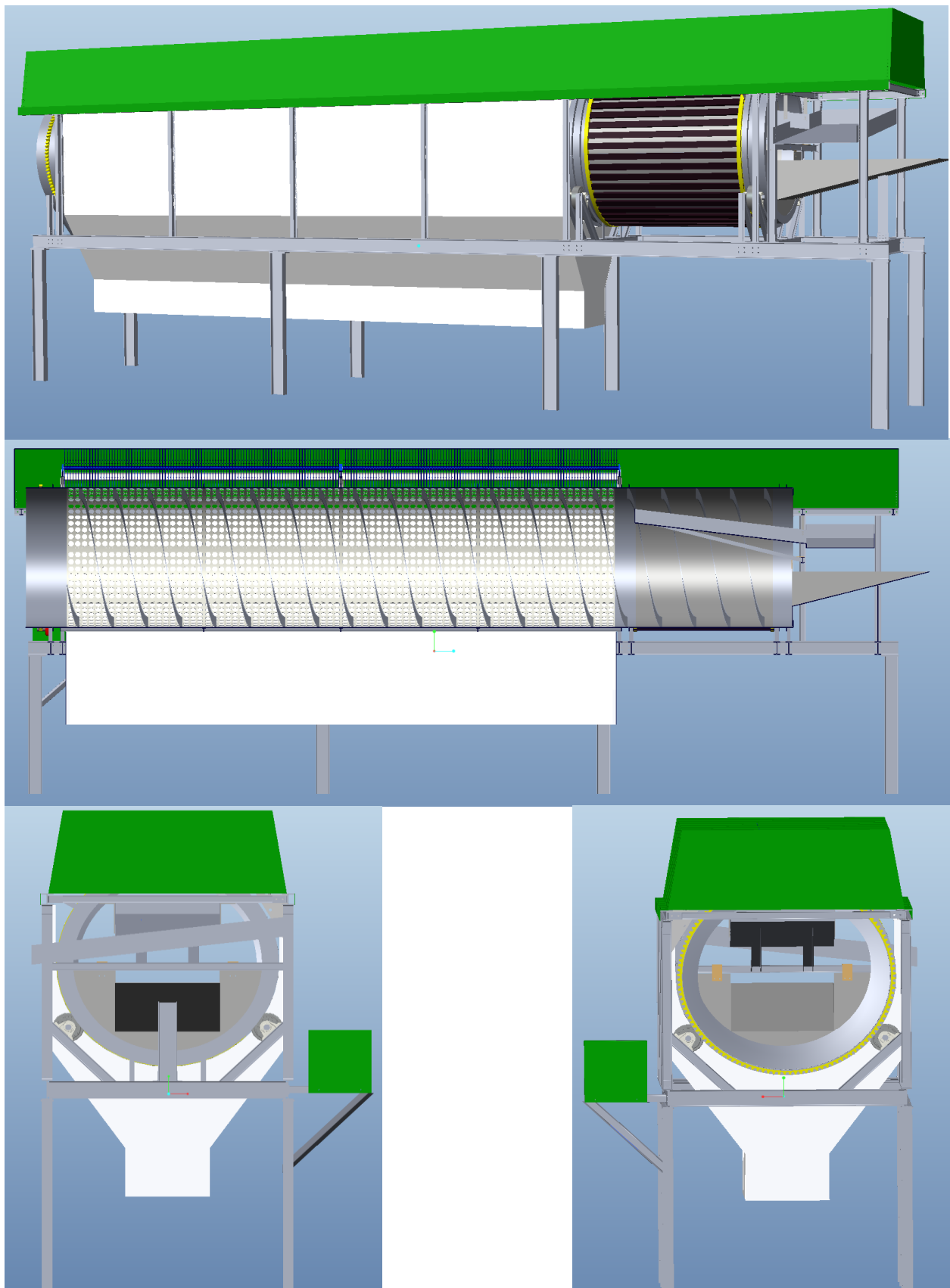
Figuur 124: Ferrometalen afvoer



Figuur 125: Ferrometalen afvoer met magneet systeem

5.2.6 Volledig ontwerp.

Al deze componenten samen vormen de technische inrichting afgebeeld in figuur 126.



Figuur 126: Aanzichten trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering

5.2.7 Berekeningen

- ***Berekening van het debiet van de afvalstroom***

Voor het voldoen aan de eisen die gesteld werden in Hoofdstuk 4.2 moet de trommelzeef met geïntegreerde metaal verwijdering minimum een debiet van 50m^3 per uur of meer kunnen verwerken. Wat overeenkomt met een minimaal verwerkingsdebiet van 0.83 m^3 per minuut.

Door de keuze te maken voor een spiraal die instaat voor de verplaatsing van het afval in de trommelzeef is het zeer eenvoudig om het debiet te bepalen dat de trommel zal verwerken per minuut. De hoogte van de spiraal in de trommel geeft ons het maximale niveau dat het afval kan en mag bereiken om zich door de trommel te verplaatsen. Aan de hand van deze hoogte van de schotten van de spiraal en de spoed kan het volume wiskundig bepaald worden dat het afval zal innemen tussen 2 schotten van de spiraal. Deze berekeningen lopen analoog met 5.1.6 en hebben als resultaat 0.83 m^3 per min.

Om te voldoen aan 0.83 m^3 per min moet de trommel dus 8.3 omwentelingen per min realiseren. Door het toevoegen van meer spiralen met de zelfde spoed van 1 meter zal deze waarden niet variëren. Er zijn dus altijd 8.3 omwentelingen per minuut nodig ongeacht het aantal spiralen.

- ***Aandrijving zeeftrommel***

De volgende berekeningen dienen om te bepalen welke motor nodig was voor de aandrijving van de trommelzeef met geïntegreerde metaalscheiding. Eerder werd vermeld dat er de keuze is gemaakt om een ketting te gebruiken. Het grootte tandwiel van de ketting ligt reeds vast. Nu zal ook het klein tandwiel gedimensioneerd moeten worden.

Voor het realiseren van de omwentelingssnelheid van 8.3 toeren per min van de trommelzeef met geïntegreerde metaalscheiding moet er een overbrengingsverhouding bepaald worden. Het grote tandwiel van de zeeftrommel beschikt over 128 tanden. De overbrengingsverhouding i zal kleiner gehouden moeten worden kleiner dan 7. Bij een hogere overbrengingsverhouding zou immers de slijtage teveel toenemen en nefast zijn voor de levensduur. Om deze reden wordt het klein tandwiel vastgelegd op 23 tanden.

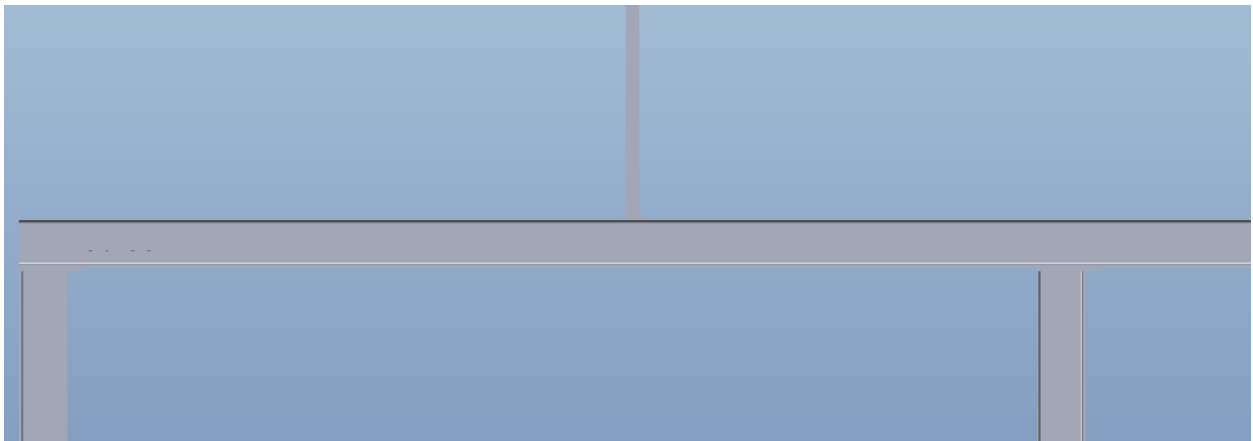
Met de volgende formule kan nu de snelheid van het kleine tandwiel bepaald worden.

$$\frac{Z1}{Z2} = \frac{N2}{N1}$$

Met $N1 = 8.3$ toeren per min wordt een uiteindelijke snelheid van 46.2 toeren per min van het kleine tandwiel verkregen. Dit zal de snelheid moeten zijn die de as van de motor zal leveren na de reductiekast. Deze reductiekast wordt samen met de aandrijfmotor geleverd door de fabrikant. De gekozen 15 kW motor (Bijlage G) komt mooi overeen met deze waarde. De output snelheid voor deze motor is 48 toeren per minuut. Hiermee zitten we iets boven de nodige snelheid maar het verschil is zo klein dat het geen invloed zal hebben op de zeefwerking.

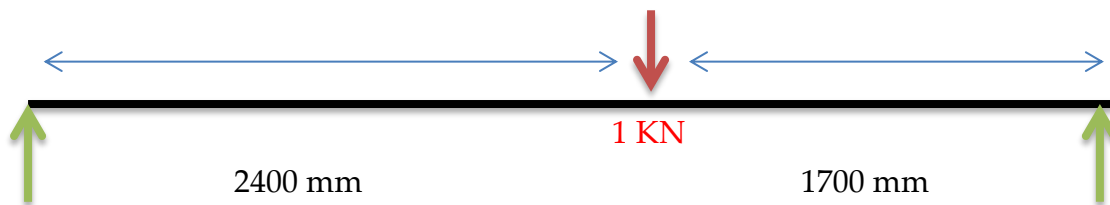
- **Doorbuiging**

Een berekening die vaak werd toegepast voor de vele grote en lange overbruggingen die moesten gebeuren in de technische inrichtingen, is de doorbuiging van deze elementen. Een te grote doorbuiging van stukken zou immers onacceptabel zijn voor het goed functioneren van de technische inrichting. Als voorbeeld zal er een berekening gebeuren op de doorbuiging van één I profiel (Figuur 127) die aanwezig is in de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering en tevens representatief is voor al de andere berekeningen die gebeurd zijn.



Figuur 127: I-profiel frame

In de eerste stap wordt de situatie vereenvoudigd naar een twee dimensionaal systeem om de berekening eenvoudiger te maken. Vervolgens wordt er gekeken naar de ondersteuningspunten en welke belastingen er in het systeem voorkomen.



Eens dit gebeurd is kan er met gebruik van een formule de doorbuiging bepaald worden. Er bestaan verschillende doorbuigingsformules afhankelijk van de belastingsgevallen. De formules en belastingsgevallen die voor deze berekening gebruikt worden zijn terug te vinden in de appendix C van R. Hibbeler. Sterkteleer. Vierde druk. [54]

Daar de belasting zich niet in het midden bevindt van het I-profiel is dit een tweede belasting geval. De volgende formule kan hiervoor gebruikt worden:

$$v = \frac{-P b a}{6 E I L} \cdot (L^2 - b^2 - a^2)$$

Met:

- v = doorbuiging
- P = belasting
- b = kortste lengte van steunpunt tot belasting
- a = langste lengte van steunpunt tot belasting
- E = elasticiteitsmodulus
- I = traagheidsmoment van I-profiel
- L = totale lengte van steunpunt tot steunpunt

Waarbij

- P = 1000N
- b = 1.7 m
- a = 2.4 m
- E = het I-profiel is vervaardigd uit S235JR, dit betekend dat het staal een elasticiteitsmodulus heeft van 235 GPa of $235 \cdot 10^9 \text{ N / m}^2$
- I = het traagheidsmoment van een I-profiel kan berekend worden aan de hand van de traagheidsformules en de formules van Steiner. In dit geval wordt er echter gebruik gemaakt van de traagheidsmomenten meegedeeld door de leverancier. $I_{x-x} = 1943 \text{ cm}^4$ of $19.43 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$
- L = 4.1 m

$$v = \frac{-1000 \text{ n} \cdot 1,7 \text{ m} \cdot 2,4 \text{ m}}{6 \cdot 235 \cdot 10^9 \cdot 1,943 \cdot 10^{-5} \cdot 4,1 \text{ m}} \cdot (4,1 \text{ m}^2 - 1,7 \text{ m}^2 - 2,4 \text{ m}^2)$$

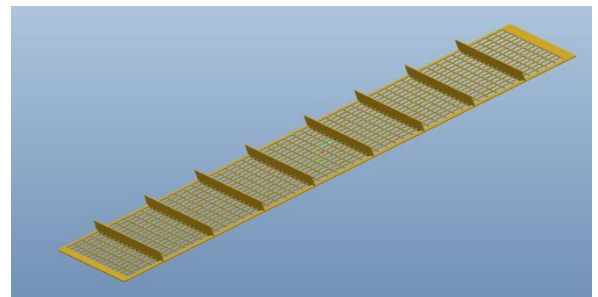
$$v = -0.000296 \text{ m}$$

Een doorbuiging van 0.296mm is een zodanig kleine waarde dat dit geen nadelig effect heeft om de werking van het systeem.

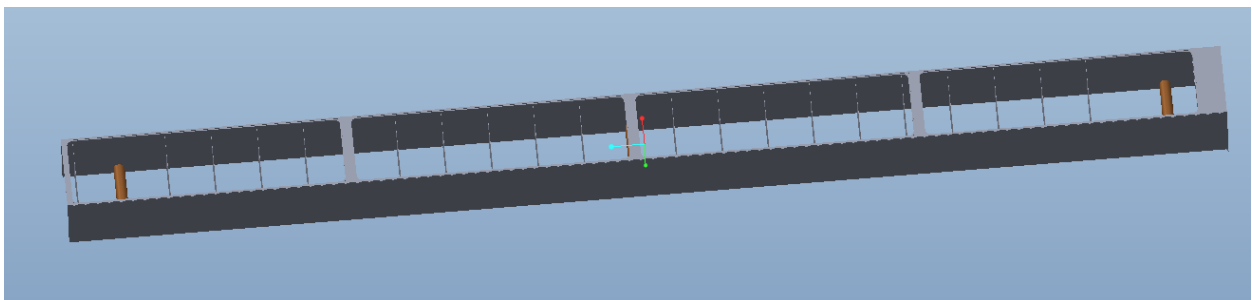
5.3 Ballistische scheider

De ballistische scheider (Figuur 128) is geen volledig nieuw concept maar slechts een zeer bescheiden aanpassing aan de peddels die gebruikt worden. Een standaard ballistische scheider wordt in de meeste omstandigheden toegepast als scheider van 3D en 2D materialen of als densiteit scheider. Deze twee eigenschappen worden behouden. Dankzij de aanpassing komt er een derde eigenschap bij die het mogelijk maakt om gelijktijdig ook op een gekozen grote te zeven, zodat er niet twee maar drie fracties ontstaan na het scheidingsproces.

Dit is mogelijk gemaakt door de peddels van de ballistische scheider (Figuur 131) te voorzien van grootte openingen waarin verschillende plaatsecties kunnen worden aangebracht die instaan voor het zeven. De plaatsecties zoals afgebeeld in figuur 128 bevatten allemaal gaten waardoor het materiaal dat kleiner is door deze zeefgrootte zullen vallen en afgezeefd worden tijdens het scheidingsproces. Dit kan bijvoorbeeld zeer geschikt zijn indien de afvalstroom die aangeleverd wordt veel zand bevat en aan elkaar hecht. Door de hevige beweging die de afvalstroom ondervindt van de ballistische scheider vallen deze elementen uit elkaar en kan het zand eenvoudig worden afgevoerd doormiddel van de gaten. Figuur 129 geeft de peddels weer zonder de plaatsecties.

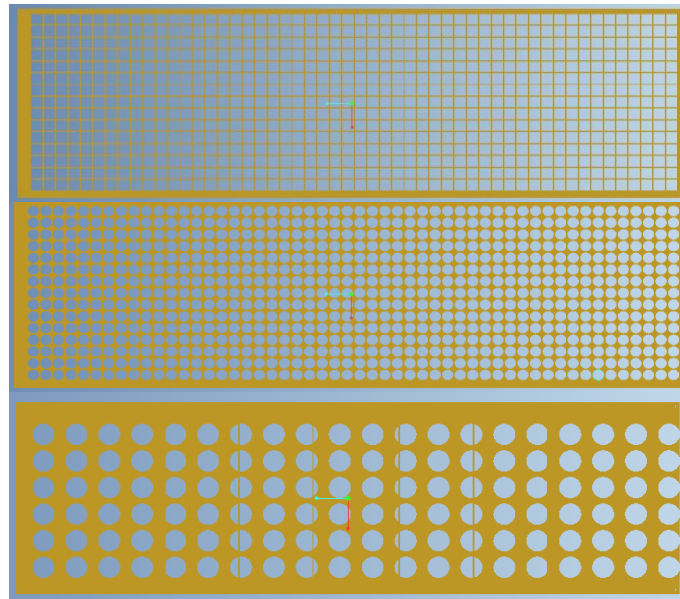


Figuur 128: Plaatsectie voor zeven

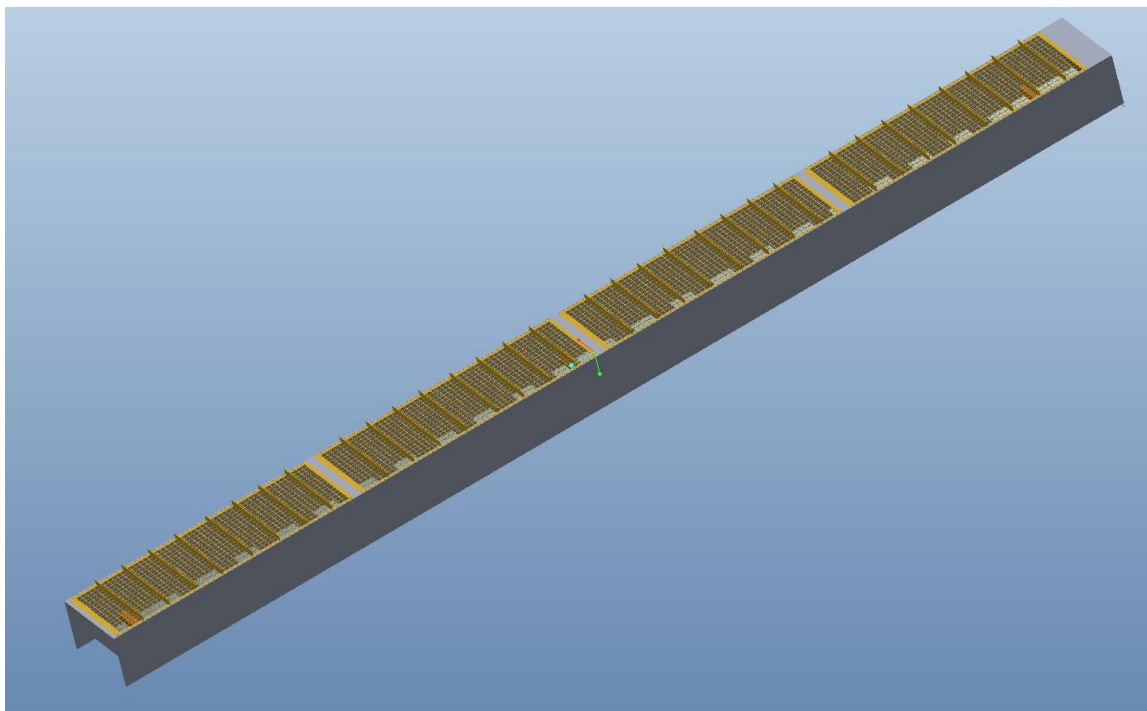


Figuur 129: Peddel zonder plaatsectie

De peddels zijn zo ontworpen dat de plaatsecties voor het zeven eenvoudig en snel kunnen vervangen worden. Dit betekent niet enkel dat bij het onderhoud van de ballistische scheider een plaatsectie gemakkelijk kan verwisseld worden, waardoor er slechts een zeer beperkte *downtime* is. Ook kan de ballistische scheider zeer snel omgebouwd worden om andere scheidingsgroten te realiseren, door een grote variëteit aan plaatsecties te voorzien met verschillende patronen en groottes die uitwisselbaar zijn (Figuur 130).



Figuur 130: Variëteit aan plaatsecties



Figuur 131: Ballistischscheider peddel

6 Conclusie

Nu de ontwerpen zijn uitgewerkt, is het nodig deze even kritisch te evalueren en over de behaalde resultaten te reflecteren. Ook formuleren we enkele suggesties voor de volgende stappen in het onderzoek.

6.1 Evaluatie

Het is mogelijk deze masterproef zelf te evalueren op twee vlakken. De meest eenvoudige manier is het analyseren of er aan alle eisen van Group Machiels is voldaan. Om een mooi overzicht te krijgen is dit verdeelt in een aantal puntjes.

- ✓ Als eis had Group Machiels een debiet van minimaal 50 m³/uur opgelegd. Zowel de zeeftrommel als de droogtrommel halen deze waarde zonder problemen. De droogtrommel heeft zelfs een maximaal haalbaar debiet van 63,24 m³/uur.
- ✓ Het verwijderen van ferrometalen uit de materiaalstroom was een belangrijke eis. Aangezien een deel van het afval gebruikt wordt voor waterstofextractie in een plasma installatie, moet al het metaal uit dit afval zijn gehaald. Een tweede reden is dat de hoeveelheid metaal nog steeds een vaste waarde heeft en makkelijk recycleerbaar is. Het is om deze redenen dat zowel de droogtrommel als de zeeftrommel beide een metaalverwijderingssysteem hebben. Beide systemen zijn zelfontworpen en uniek in de sorteringsindustrie.
- ✓ Dankzij deze metaalverwijderingssystemen wordt er automatisch voldaan aan de eis om twee of meerdere fysische scheidingsmethodes met elkaar te combineren.
- ✓ Het voordeel van de ontwerpen die gemaakt zijn, is dat ze zowel werken voor industrieel als huishoudelijk afval. Doordat reeds van in het begin rekening gehouden is met het feit dat industrieel afval grotere stukken met zich meebrengt, is de kans op opstoppen miniem omdat alles over gedimensioneerd is om verstoppingen tegen te gaan.

- ✓ Dankzij de invoerlades in de droogtrommel en zeeftrommel kunnen deze installaties de onregelmatige aanvoer van afval gemakkelijk aan. Het afval zal geleidelijk aan over deze lades schuiven tot in de trommels. De spreiding van het materiaal kan nog verbeterd worden door het gebruik van een triltafel.
- ✓ Met de bediening van de machines is ook rekening gehouden. De droogtrommel en zeeftrommel maken beide gebruik van motoren als aandrijving. Ook de magneettrommel gebruikt een elektrische motor als aandrijving. Al deze motoren staan op goed bereikbare plaatsen. Eveneens is er in de ontwerpen voor gezorgd dat zelfs de voedingskabels van deze motoren via de juiste hoek de motor in gaan en dus nergens in contact komen met andere (beweegbare) onderdelen.
- ✓ De vermogens van de twee aandrijvingsmotoren goed overeen met de vermogens die gebruikelijk zijn in de industrie. Zo is de motor voor de zelfontworpen zeeftrommel (15 kW) identiek wat betreft het vermogen als een zeeftrommel van de fabrikant Masias [57]. Voor de dubbele droogtrommel (132 kW) is het moeilijker een vergelijkbaar systeem te vinden. De enige manier om het aandrijvingsvermogen te vergelijken is via het draaiende gewicht. De droogtrommel van Masias met diameter 3,9 meter en lengte 35 meter goed overeen met het draaiende gewicht van onze zelfontworpen dubbele droogtrommel. De droogtrommel van Masias gebruikt een aandrijvingsvermogen van 145 kW [58]. Een waarde die ook zeer goed overeen komt met de aandrijvingsmotor van de zelfontworpen dubbele droogtrommel.
- ✓ Tijdens het ontwerpen is er altijd rekening gehouden met de gekende productietechnieken. Alle systemen werden ontworpen met de gedachten dat ze ooit gemaakt zullen worden. Dit betekent dat alles bereikbaar en vervangbaar is. Zo is het zeer eenvoudig om onderhoud uit te voeren. Gesloten delen, zoals de magneettrommel, zijn ook ontworpen om uiteen genomen te worden op een snelle en efficiënte manier zodat zelfs het onderhoud aan deze onderdelen vlot kan verlopen. Eveneens is er voor gezorgd dat de ontwerpen onderhoudsvriendelijk en duurzaam zijn. Het rechtstreekse verband hiermee is dat de machines dan ook een lange levensduur hebben. Deze duurzame ontwerpen betekenen dat de gebruiker maar éénmalig een grote kost heeft, hetgeen interessant is voor de gebruiker.

- ✓ De keuzemogelijkheid in energievoorzieningen bij elektrische motoren is redelijk beperkt. Echter is het mogelijk het materiaal te drogen op verschillende manieren. In het ontwerp is rekening gehouden met deze nog onbepaalde factor. Vanuit Group Machiels bestaat er een voorkeur om warmte te recupereren van de plasma installatie om het afval te drogen. Hiervoor zijn grote warmtewisselaars nodig. Dankzij de vorm van de lucht inlaat van de droogtrommel is het nog mogelijk deze keuze te maken op later tijdstip. In hoofdstuk 5.1.6 is reeds aangetoond dat het berekende nodige vermogen voor het drogen van het afval (7213,63 kW) een zeer realistische waarde is waar zeker mee verder gewerkt kan worden. Deze waarde kan als uitgangspunt dienen om de ruwe afmetingen van een eventuele warmtewisselaar te bepalen. Dit kan al een toekomstbeeld geven in de implementatie, werking, plaatsing en bevestiging van zulk systeem.
- ✓ De toevoeging van isolatie op de droogtrommel is niet alleen goed om warmteverliezen tegen te gaan maar doet ook het energieverbruik dalen dat nodig is om het materiaal te drogen. Er mag gezegd worden dat het plaatsen van isolatie op een droogtrommel zeer zeldzaam is en dus een simpele maar effectieve verbetering is.
- ✓ Het ontwerp van de trommelzeef houdt volledig rekening met de eis om het materiaal te scheiden in verschillende fracties. Doordat zowel de individuele *screens* als de gehele trommel gewisseld kunnen worden, is het mogelijk om met dezelfde installatie de verschillende fracties te creëren.
- ✓ Als laatste eis wou Group Machiels niet dat het materiaal enige vorm van *shredding* zou ondergaan. *Shredding* heeft als gevolg de potentiële waarde van sommige materialen te doen dalen. Doordat er nergens kans op opstoppingen zijn en er overal genoeg plaats is om het materiaal te verwerken, zal er in normale omstandigheden ook geen *shredding* ontstaan.
- ✓ Een andere eis die moeilijk te halen was, was het budget. (Zie Tabel 1) Dit budget is niet overschreden maar het was uitermate moeilijk in te schatten wat de productiekost zal zijn. Na raadpleging van het bedrijf Busschers werd het duidelijk dat vooral de droogtrommel met geïntegreerde metaalverwijdering in onbekend terrein lag. Dit ontwerp is ook volledig zelf bedacht en er is niets vergelijkbaars op de markt. Dat maakt het moeilijk de kostprijs te schatten. Uiteraard is de materiaalkost eenvoudig te berekenen maar het zijn de

productiekosten (arbeidskost, duur, productiemachines, ...) die volledig ongekend zijn. Toch heeft de heer Daalwijk, werknemer van Busschers, een schatting kunnen geven op de productiekost van de dubbeldroogtrommel. Om de gekende redenen ligt de ruime inschatting tussen €350.000 en €500.000. Weliswaar is het voor de trommelzeef met geïntegreerde metaalverwijdering iets eenvoudiger de totale kostprijs te berekenen. Dit ontwerp komt namelijk goed overeen met een conventionele trommelzeef. Enkel de productiekost en installatiekost van het magneetgedeelte is moeilijk in te schatten. Ook hier heeft de heer Daalwijk een schatting kunnen geven. Voor de magneten heeft hij zich kunnen baseren op de prijs van een bovenbandmagneet. De magneten zijn de grote kost, niet de constructie waar ze in zitten of mee vast hangen. Alles samen kwam de schatting tussen €200.000 en €250.000.

De productiekost van de ballistische scheider gaan we voor deze masterproef niet in rekening brengen aangezien het geen volledig nieuw ontwerp is maar een aanpassing van een reeds bestaand concept. Indien het toch nodig is een prijsbepaling te doen moet er enkel een meerkost van het extra gebruikt materiaal voorzien worden aangezien de peddels anders ontworpen zijn dan in een conventionele ballistische scheider. Een eventuele meerkost van de aanpassingen van de peddels zou niet opwegen tegen de totaalkost van de ballistische scheider.

In totaal komt het prijskaartje van de dubbele droogtrommel en de zeeftrommel uit op een schatting van €550.000 tot €750.000. Zoals eerder vermeld is dit een hele ruime schatting aangezien de zelf ontworpen systemen geen commerciële vergelijkbare machines kennen.

Het totale kostenplaatje valt altijd binnen het opgelegde budget van €700.000-€800.000. Dit betekent dat er sowieso een marge is om misschien toch de ballistische scheider ook hier in rekening te brengen.

- De moeilijkste eis tijdens het ontwerpen was de mobiliteit. Dit kwam vooral omdat er een schikking gevonden moest worden tussen mobiliteit en verwerkingsdebiet. Het was nodig het materiaal te drogen. Dit maakte het ontwerpen van een droogtrommel noodzakelijk, een machine die in conventionele toepassingen zeer groot is. Door het gebruik van een dubbele droogtrommel kon de grootte al gehalveerd worden maar het blijft een relatief grote machine. De mobiliteit verzekeren van de 70 ton zware drooginstallatie op een zandige ondergrond is al een enorme uitdaging op zich. Daarom werd er

gekozen om het verwerkingsdebiet te prioriteren. Deze weging werd ook gemaakt bij de zeeftrommel met geïntegreerde metaalverwijdering. Vooral het dilemma van hoe de afvoer van het gezeefde materiaal moest verlopen was een beperking. Het materiaal dat door de zeef valt moet onder de zeef opgevangen worden. Hierdoor moet de volledige zeeftrommel op een statief staan. Dit maakt de constructie topzwaar en onstabiel indien ze verplaatst wordt.

Als tweede evaluatie methode bekijken we de manier van werken. Het stramien dat gevolgd werd bleek bepalend te zijn voor het verkrijgen van een goed ontwerp. De gestructureerde overgangen van het methodisch ontwerpen idee geven een goede basis om er voor te zorgen dat niets over het hoofd gezien wordt. Vooral door het gebruik van de functieblokschema's zijn er goede en nieuwe innoverende ideeën op tafel gekomen.

6.2 Vooruitblik

Vooral de ontwerpen met de droogtrommel en met de zeeftrommel kunnen een ideale basis vormen voor verder onderzoek. In deze masterproef was het niet de bedoeling de ontwerpen in praktijk te testen maar enkel theoretisch uit te werken. Hierdoor blijven er toch nog een aantal onbekende factoren open. Een verder onderzoek of masterproef zou één specifiek ontwerp volledig kunnen onderzoeken en verfijnen. De ontwerpen van deze masterproef zijn gemaakt met de mogelijkheid tot productie in het achterhoofd, ze moeten enkel nog getest en eventueel verder uitgewerkt worden tot volledige technische ontwerpen. Een onderzoek naar de effectiviteit van de metaalverwijderingsprocessen, of de efficiëntie van de droging of zeping, zou een goed onderwerp zijn voor een volgende masterproef.

Uit de gesprekken met de heer Daalwijk is gebleken dat onderzoek naar de effectiviteit van de ballistische scheider zeer moeilijk is omdat de theoretische efficiëntie zeer moeilijk te bepalen is. Er zijn te veel vrije variabelen die men niet kan vastleggen. Vooral het te verwerken materiaal bezit meerdere onbekende factoren. Zowel het verwerkingsdebiet als de efficiëntie van de ballistische scheider kunnen enkel via een proefopstelling experimenteel bepaald worden.

Literatuurlijst

- [1] "Group Machiels." [Online]. Available: <http://www.machiels.com/>. [Accessed: 16-Apr-2014].
- [2] "Enhanced Landfill Mining." [Online]. Available: <http://www.machiels.com/company-detail.aspx?ID=885c55e0-f3b6-4fe6-aa25-1fa7bfc312dd>. [Accessed: 15-May-2014].
- [3] "Story | Group Machiels." [Online]. Available: <http://www.machiels.com/AboutWhoWeAre.aspx>. [Accessed: 16-Apr-2014].
- [4] "Remo Milieubeheer, afvalbeheer, opslag, stortplaats - Houthalen-Helchteren, Limburg." [Online]. Available: <http://remomilieubeheer.be/nl>. [Accessed: 16-Apr-2014].
- [5] "Figuur 1 Replacement Trommel Drums & Trommel drum Screens." [Online]. Available: <http://samscreen.com/product/trommel-drums-screens/>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [6] "Figuur 2 dubbele trommelzeef 64_TerraSelect.jpg (500×498)." [Online]. Available: http://www.biocycle.net/wp-content/uploads/2013/03/64_TerraSelect.jpg. [Accessed: 10-Mar-2014].
- [7] "Figuur 3 Ballistic Separators – screen separators." [Online]. Available: <http://www.tinsleycompany.com/recycling/ballistic-separators/>. [Accessed: 15-Mar-2014].
- [8] "Figuur 4 BALLISTIC SEPARATORS, MOBILE SCREENING AND SORTING UNIT." [Online]. Available: <http://www.aktid.fr/en/separateur-balistiques.php#>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [9] "Figuur 5 Hombak | Maschinen- und Anlagenbau: Disc separator." [Online]. Available: <http://www.hombak.com/Scheibensortierer.38.0.html?&L=2>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [10] "Figuur 6 vibrating screen." [Online]. Available: http://www.hztrading.com/pro/2010/03/23/YA_series_round_vibrating_screen/. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [11] "Figuur 7 Triple Vibrating Screen." [Online]. Available: <http://www.zk-kiln.com/products/24.html>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [12] "Figuur 8 gif Sweco triple vibating screen." [Online]. Available: http://sweco.com/swf/f_gyramax_sideview.swf. [Accessed: 12-Feb-2014].

- [13] "Figuur 9 MATEC - Massagoed Techniek :: Triltechniek KASON." [Online]. Available: <http://www.matec.nl/producten/triltechniek-kason/>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [14] "Figuur 10 Great Western Manufacturing - Advantages of the Tru-Balance Sifter Drive." [Online]. Available: <http://www.gwmfg.com/tbAdvantage.htm>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [15] "Figuur 11 Lemphy Equipment-Gyratory Screeners Centrifugal Sifter Vibrating Rotary Screens Circular Separator screeners Sieves Screw spiral Conveyor Feeder Gringding Mills Lab Test Laboratory Sieve Shaker Testing." [Online]. Available: <http://www.lemphy.com/EnProductshow.asp?id=119>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [16] "Figuur 12 As for the production and sales of wedge wire screens, separators and separating equipment, please contact us for relevant inquiries." [Online]. Available: <http://www.toyoscreen.co.jp/en/products/index2.html>. [Accessed: 10-Apr-2014].
- [17] J. C. Verstelle and H. P. J. Wijn, *Magnetism (Google eBook)*. Springer, 1968, p. 592.
- [18] "Blokmagneeten Goudsmit Magnetism." [Online]. Available: <http://www.goudsmit-magnetism.nl/NL/ProductCategoryLevel3/9/Blokmagneeten?cat2=26>. [Accessed: 15-Apr-2014].
- [19] "Overbelt magnets - Goudsmit Magnetism." [Online]. Available: <http://www.goudsmit-magnetism.nl/EN/ProductCategoryLevel3/164/Overbelt-magnets?cat2=39>. [Accessed: 15-Apr-2014].
- [20] "Head roller magnets - Goudsmit Magnetism." [Online]. Available: <http://www.goudsmit-magnetism.nl/EN/ProductCategoryLevel3/163/Head-roller-magnets?cat2=39>. [Accessed: 15-Apr-2014].
- [21] "Drum magnets - Goudsmit Magnetism." [Online]. Available: <http://www.goudsmit-magnetism.nl/EN/ProductCategoryLevel3/162/Drum-magnets?cat2=39>. [Accessed: 15-Apr-2014].
- [22] "Kaskaden-Magnetsysteme - Beloh Magnetsysteme GmbH & Co. KG." [Online]. Available: http://www.beloh.com/magnete_produkte/separiermagnetsysteme/Industrielle_Separier-Magnetsysteme/kaskadenmagnete_bm26.048-26.085.htm. [Accessed: 15-Apr-2014].

- [23] "I-Sens separators - Goudsmit Magnetics." [Online]. Available: <http://www.goudsmit-magnetics.nl/EN/Product/577/I-Sens-separators?cat2=36&cat3=155>. [Accessed: 15-Apr-2014].
- [24] "windshifter_en.pdf." [Online]. Available: http://www.nihot.co.uk/fileadmin/nihot/pdf/windshifter_en.pdf. [Accessed: 18-Apr-2014].
- [25] "Ballistic Separators – better alternative to disc screen separators." [Online]. Available: <http://www.tinsleycompany.com/recycling/ballistic-separators/>. [Accessed: 18-Apr-2014].
- [26] "MACH Ballistic Separator." [Online]. Available: <http://www.machinexrecycling.com/en/mach-ballistic.html>. [Accessed: 18-Apr-2014].
- [27] "TITECH autosort Recycling Equipment – Recycling Machinery | TOMRA Sorting : TITECH autosort." [Online]. Available: <http://www.tomra.com/en/solutions-and-products/sorting-solutions/recycling/sorting-equipment/titech-autosort>. [Accessed: 18-Apr-2014].
- [28] "Sink Float Tanks / Flootation Tanks and De-stoning Equipment from The Haith Group." [Online]. Available: http://www.haith-recycling.com/sink_float_tank_stone_separation_de-stoning.html. [Accessed: 18-Apr-2014].
- [29] R. Serway and J. Jewett, *Physics for Scientists and Engineers, Volume 2, Chapters 23-46*. Cengage Learning, 2010, p. 880.
- [30] "Media Portfolio_Chapter 22 The d-Block Elements." [Online]. Available: http://cwx.prenhall.com/bookbind/pubbooks/hillchem3/medialib/media_portfolio/22.html. [Accessed: 29-Apr-2014].
- [31] "Diamagnetism_Princeton.edu." [Online]. Available: <http://www.princeton.edu/~achaney/tmve/wiki100k/docs/Diamagnetism.html>. [Accessed: 29-Apr-2014].
- [32] "OpenCourseWareMIT Search Results: paramagnetism diamagnetism." [Online]. Available: http://search.mit.edu/search?site=ocw&client=mit&getfields=*&output=xml_no_dtd&proxystylesheet=http://ocw.mit.edu/search/google-ocw.xsl&proxyreload=1&as_dt=i&oe=utf-8&departmentName=web&courseName=&q=paramagnetism+diamagnetism&btnG.x=0&btnG.y=0. [Accessed: 29-Apr-2014].

- [33] "magnets that separate plastics - filtration and separation I.pdf." [Online]. Available: [http://bruno.home.xs4all.nl/2006/filtration and separation I.pdf](http://bruno.home.xs4all.nl/2006/filtration%20and%20separation%20I.pdf). [Accessed: 18-Apr-2014].
- [34] "Cooperation ALLGAIER and International Combustion | BulkInside." [Online]. Available: <http://www.bulkininside.com/news/cooperation-allgaier-and-international-combustion>. [Accessed: 17-Apr-2014].
- [35] "Rotary Dryers Coolers and Calciners." [Online]. Available: <http://www.barr-rosin.com/english/pdf/rotary.pdf>. [Accessed: 17-Apr-2014].
- [36] "Multi-Pass drum drying system, advanced convective drying | Vandenbroek International." [Online]. Available: <http://www.vadeb.com/products/drum-dryers/drying-drum-process-multi-pass/>. [Accessed: 11-Feb-2014].
- [37] "BiODRUM Masias Recycling." [Online]. Available: http://masiasrecycling.com/down/MR_cat_biodrum_ENG.pdf. [Accessed: 17-Apr-2014].
- [38] "Rotary Drum Dryer Benefits | Rotary Dryer." [Online]. Available: <http://rotary-dryer.com/rotary-drum-dryer/>. [Accessed: 17-Apr-2014].
- [39] "Industrial Conveyor Oven | Conveyor Belt Ovens | Davron Technologies | Industrial Conveyor Oven | Davron Technologies." [Online]. Available: <http://www.davrontech.com/catalog/industrial-ovens/conveyor-oven>. [Accessed: 17-Apr-2014].
- [40] "METHODS FOR RECONDITIONING SILICA GEL." [Online]. Available: http://talasonline.com/photos/instructions/silica_gel_reconditioning.pdf. [Accessed: 20-Apr-2014].
- [41] "Preparation of High-Silica Zeolite Beads From Silica Gel." [Online]. Available: <http://m.wpi.edu/Pubs/E-project/Available/E-project-042607-140508/unrestricted/MQP-RWT-606.pdf>. [Accessed: 20-Apr-2014].
- [42] "WinSorb :: Silica gel." [Online]. Available: <http://www.winsorb.com/silica-gel.php>. [Accessed: 20-Apr-2014].
- [43] "Experimental Investigation of a LiCl-Water Open Absorption System for Cooling and Dehumidification." [Online]. Available: http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/Professors/Gershon_Grosman/1.pdf. [Accessed: 20-Apr-2014].
- [44] "Liquid Desiccant Tutorial." [Online]. Available: http://www.ailr.com/liquid_desiccant_tutorial.htm. [Accessed: 20-Apr-2014].

- [45] N. Fumo and D. Y. Goswami, "Study of an aqueous lithium chloride desiccant system: air dehumidification and desiccant regeneration," *Sol. Energy*, vol. 72, no. 4, pp. 351–361, Apr. 2002.
- [46] "LOW TEMPERATURE DRYING AS KEY TECHNOLOGY FOR WASTE RECYCLING." [Online]. Available: http://www.ecoenergy.de/go_public/freigegeben/Low_temperature_drying_R.Schu_Venice2008_Publication.pdf. [Accessed: 20-Apr-2014].
- [47] "Smet Verhuur | Zeefmachines." [Online]. Available: <http://www.smet-zeefmachines.be/en/machines/trommelzeven/t6-2-fracties>. [Accessed: 28-Apr-2014].
- [48] "Trommelscreen T6." [Online]. Available: <http://www.terra-select.de/en/products/mobile-trommelscreens/trommelscreen-t6.html>. [Accessed: 28-Apr-2014].
- [49] H. H. van de Kroonberg and F. J. Siers, *Methodische ontwerpen*. Noordhoff Uitgevers, 2004, p. 223.
- [50] J. BAETEN and K. HAAGDORENS, *Kwaliteit en onderzoeksmethodiek (2710)*. UHasselt.
- [51] Granta Design, "CES EduPack 2013." 2013.
- [52] "Masias Recycling." [Online]. Available: <http://masiasrecycling.com/showroom/key-machines>. [Accessed: 11-Mar-2014].
- [53] U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzeler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold, and A. Stephan, *Tabellenbuch Metall*, 44 Auflage. Europa Lehrmittel, 2008, p. 432.
- [54] R. C. Hibbeler, *Sterkteleer*, 4th ed. Pearson Education Benelux, 2009.
- [55] OpenStax College, "Phase Change and Latent Heat." [Online]. Available: <http://cnx.org/content/m42225/1.2/>.
- [56] "DE BOER :: Rotary drum dryer." [Online]. Available: <http://www.deboermachines.nl/files/4613/6419/5108/RotaryDrumDryer-v2.pdf>. [Accessed: 27-May-2014].
- [57] "Masias Recycling: TR2,5/8/10." [Online]. Available: <http://masiasrecycling.com/en/key-machines/stationary-trommel/TR2.5-8-10>. [Accessed: 05-Jun-2014].

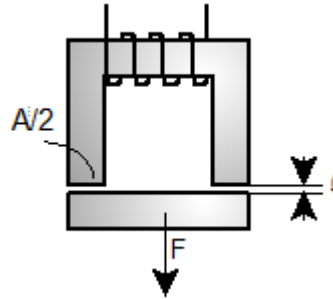
- [58] "Masias Recycling: BD3,9/35." [Online]. Available: <http://masiasrecycling.com/en/key-machines/biodrum/BD3.9-35>. [Accessed: 05-Jun-2014].

Bijlagen

Bijlage A: Hefkracht van een elektromagneet.....	148
Bijlage B: Gegevens steunwielen droogtrommel.....	150
Bijlage C: Gegevens motor 132kW.....	151
Bijlage D: Gegevens motor 11kW.....	152
Bijlage E: Rubber tensioner	153
Bijlage F: Gegevens van lagerringen met en zonder vertanding.....	154
Bijlage G: Gegevens motor 15 kW	158
Bijlage H: Gegevens steunwielen zeeftrommel	159

De resterende digitale bijlagen, zoals de gedetailleerde 3D-tekeningen, zijn te vinden op bijgevoegde CD achteraan de masterproef.

Bijlage A: Hefkracht van een elektromagneet



Schematische voorstelling van een hefmagneet.

Wanneer men een stroom I stuurt door de spoel van de elektromagneet van bovenstaande figuur dan ontstaat er eerst een magnetisch veld waarbij de energie opgehoopt in de luchtspleten gelijk is aan

$$W = w_1 V = w_1 A l$$

Hierbij is A het totale hefoppervlak van de elektromagneet!!!

Dit wordt rekening houdend met bovenstaande formules en het feit dat de middenstof lucht is

$$W = A l \frac{B_{lucht}^2}{2\mu_0}$$

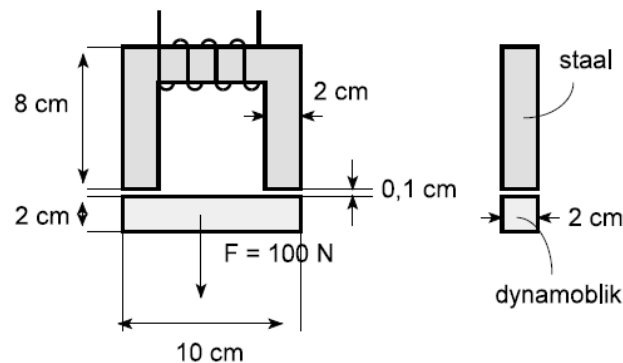
Het anker zal gemagnetiseerd en vervolgens aangetrokken worden. Hiertoe moet een arbeid $F l$ geleverd worden waarbij F het gewicht van het anker voorstelt en l de verplaatsingsafstand van het anker. Deze benodigde energie wordt geleverd door de magnetische energie van de luchtspleet, die verbruikt wordt naarmate de kern zich verder sluit.

De maximale kracht die door de elektromagneet bij een gegeven magnetische inductie in de luchtspleet kan geleverd worden, wordt gevonden door deze energieën aan mekaar gelijk te stellen.

$$F = A \frac{B_{lucht}^2}{2\mu_0}$$

Oefening:

Welke magnetische spanning is er nodig opdat de nevenstaande magneet een gewicht van 100 N kan heffen?



Oplossing:

- Via de formule van de hefkracht van een magneet vinden we de vereiste magnetische inductie in de luchtspleten.

$$F = \frac{AB_{lucht}^2}{2\mu_0}$$

$$B_{lucht} = \sqrt{\frac{F2\mu_0}{A}} = \sqrt{\frac{100 \cdot 2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 10^{-4}}} = 0,56 \text{ T}$$

Hierin is A het totale hefoppervlak m.a.w. 2 keren 4 cm^2 .

- Om de magnetische spanning uit te rekenen hebben we de flux in de bovenstaande magnetische keten nodig. Deze is gelijk aan:

$$\begin{aligned}\Phi_{lucht} &= B_{lucht} A_{lucht} \\ &= 0,56 \cdot 1,25 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \\ &= 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}\end{aligned}$$

In een enkelvoudige magnetische keten is ϕ constant in iedere doorsnede.

- Het berekenen van de magnetische spanning gebeurt m.b.v. de wet van Ampère zoals reeds eerder in meerdere oefeningen geïllustreerd.

$$\begin{aligned}\Phi_{lucht} &= 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} \\ B_{lucht} &= 0,56 \text{ T} \\ H_{lucht} &= \frac{B_{lucht}}{\mu_0} \\ &= \frac{0,56}{4\pi \cdot 10^{-7}} \\ &= 445633 \text{ A/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi_{staal} &= 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} \\ B_{staal} &= \frac{\Phi_{staal}}{A_{staal}} \\ &= \frac{2,8 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} \\ &= 0,7 \text{ T} \\ H_{staal} &= 425 \text{ A/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi_{dyn} &= 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Wb} \\ B_{dyn} &= \frac{\Phi_{dyn}}{A_{dyn}} \\ &= \frac{2,8 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-4}} \\ &= 0,7 \text{ T} \\ H_{dyn} &= 150 \text{ A/m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ell_{lucht} &= 2 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ cm} \\ H_{lucht}\ell_{lucht} &= 891,27 \text{ Aw}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ell_{staal} &= 7 + 8 + 7 = 22 \text{ cm} \\ H_{staal}\ell_{staal} &= 93,5 \text{ Aw}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ell_{dyn} &= 10 \text{ cm} \\ H_{dyn}\ell_{dyn} &= 15 \text{ Aw}\end{aligned}$$

De magnetische spanning NI is bijgevolg gelijk aan:

$$NI = 891,27 + 93,5 + 15 = 999,77 \text{ Aw}$$

Bijlage B: Gegevens steunwielen droogtrommel

Zoals te zien in deze datasheet kunnen de steunwielen voor de droogtrommel 12000 kg aan. Deze waarde is meer dan voldoende aangezien er in totaal 20 steunwielen zijn en het totaalgewicht amper 55000 kg is. Deze wielen zijn gekozen geweest tijdens het ontwerpen in Creo PTC toen het totaalgewicht nog niet geweten was en om 100% zeker te zijn dat ze het volledige gewicht zouden aankunnen. Toch zijn ze in het ontwerp behouden geweest omdat wielen met de zelfde afmetingen maar een lagere draagcapaciteit ook bestaan.



Product data sheet

GTH 604/80K

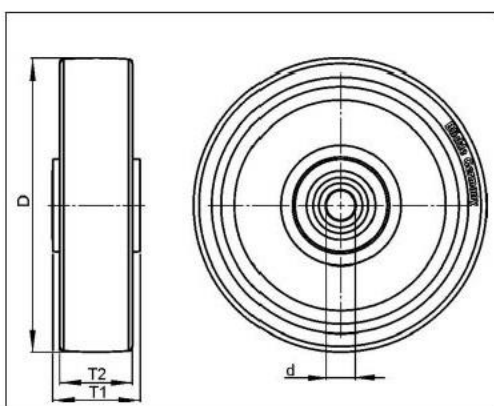


EAN: 4047526089207

ID: 754418

Heavy duty wheel with Blickle Extrathane® polyurethane tread, with cast iron wheel centre

Tyre & running tread: Made of high-quality, reaction-injected polyurethane-elastomer Blickle Extrathane®, low-noise operation, low rolling resistance, good floor preservation, very high abrasion resistance, high cut and tear propagation resistance, very good chemical connection with the wheel centre. Tread colour: light brown.
Rim / wheel centre: Made of grey cast iron, with grease nipple, lacquered.



Technical data

Wheel Ø (D)	600 mm
Tread width (T2)	200 mm
Flange length (T4)	0 mm
Load capacity	12000 kg
Axle bore Ø (d)	80 mm
Hub length (T1)	200 mm
Unit weight	132 kg
Temperature range from	-25 °C
Temperature range to	70 °C
Tread & tire hardness	92° Shore A
Bearing type	

Rolling resistance



Operating noise



Floor surface preservation



Bijlage C: Gegevens motor 132kW

Product information



AC gearmotor

R167DRE315S4



Rated motor speed	[1/min] : 1483
Output speed	[1/min] : 63
Overall gear ratio	: 23.71
Output torque	[Nm] : 20100
Service factor SEW-FB	: 0.90
input mounting position/IM	: M1
Position of connector/terminal box	[°] : 0
Cable entry/connector position	: X
Output shaft	[mm] : 120x210
Permitted output overhung load with n=1400	[N] : 107900
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 27
Motor power	[kW] : 132
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE2
Efficiency (50/75/100% P _n)	[%] : 94.3 / 95 / 95
CE mark	: Yes
Motor voltage	[V] : 400/690
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 230 / 133
Cos Phi	: 0.87
Thermal class	: 130(B)
Motor protection type	: IP55
Design requirement	: IEC
Net weight	[Kg] : 1520

Additional feature and Options:

2 oil seals on the output shaft
Corrosion protection
Lubricant: E 460 (-20 / +40 °C): 27 Liter
Enclosure IP 55 - standard motor
Surface protection OS4 (very high environmental pollution)

Bijlage D: Gegevens motor 11kW

Product information



AC gearmotor

R87DRE160MC4



Rated motor speed	[1/min] : 1475
Output speed	[1/min] : 77
Overall gear ratio	: 19.10
Output torque	[Nm] : 1360
Service factor SEW-FB	: 1.05
input mounting position/IM	: M1
Position of connector/terminal box	[°] : 270
Cable entry/connector position	: 3
Output shaft	[mm] : 50x100
Permitted output overhung load with n=1400	[N] : 12900
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 2.3
Motor power	[kW] : 11
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE2
Efficiency (50/75/100% P _n)	[%] : 90.3 / 90.6 / 90.2
CE mark	: Yes
Motor voltage	[V] : 400/690
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 21.5 / 12.6
Cos Phi	: 0.81
Thermal class	: 130(B)
Motor protection type	: IP55
Design requirement	: IEC
Net weight	[Kg] : 140

Additional feature and Options:

Corrosion protection

Enclosure IP 55 - standard motor

Surface protection OS4 (very high environmental pollution)

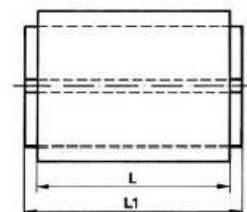
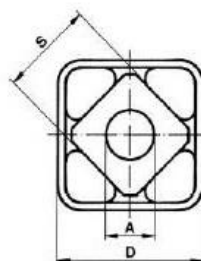
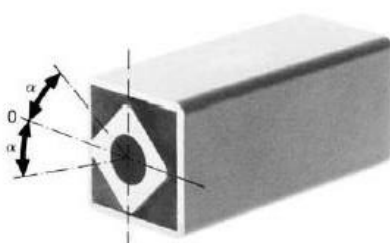
Bijlage E: Rubber tensioner

ROSTA



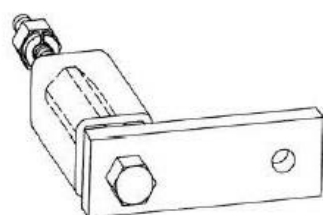
Rubber Suspension Unit

Type DR-C



Art. No	Type	L	L1 ^{0.9}	A	D	S	Torque M in Nm at $\pm \alpha$						Weight in kg
							5°	10°	15°	20°	25°	30°	
01 031 010	DR-C 15 x 25	25	30	10 ^{+0.2} _{-0.1}	27 ^{+0.2} _{-0.1}	15	0.7	1.6	2.6	4.0	5.7	8.2	0.06
01 031 011	DR-C 15 x 40	40	45	10 ^{+0.2} _{-0.1}	27 ^{+0.2} _{-0.1}	15	1.1	2.5	4.2	6.4	9.2	13.2	0.10
01 031 012	DR-C 15 x 60	60	65	10 ^{+0.2} _{-0.1}	27 ^{+0.2} _{-0.1}	15	1.6	3.8	6.3	9.6	13.8	19.8	0.15
01 031 001	DR-C 18 x 30	30	35	13 ^{+0.2} _{-0.1}	32 ^{+0.2} _{-0.1}	18	1.9	4.5	7.5	11.0	15.0	20.6	0.10
01 031 002	DR-C 18 x 50	50	55	13 ^{+0.2} _{-0.1}	32 ^{+0.2} _{-0.1}	18	3.2	7.5	12.5	18.3	25.0	34.4	0.16
01 031 003	DR-C 18 x 80	80	85	13 ^{+0.2} _{-0.1}	32 ^{+0.2} _{-0.1}	18	5.1	12.0	20.0	29.3	40.0	55.0	0.25
01 031 004	DR-C 27 x 40	40	45	16 ^{+0.3} _{-0.1}	45 ^{+0.2} _{-0.1}	27	4.7	10.7	17.5	26.9	39.5	57.0	0.25
01 031 005	DR-C 27 x 60	60	65	16 ^{+0.3} _{-0.1}	45 ^{+0.2} _{-0.1}	27	7.0	16.0	26.3	40.3	59.3	85.5	0.36
01 031 006	DR-C 27 x 100	100	105	16 ^{+0.3} _{-0.1}	45 ^{+0.2} _{-0.1}	27	11.7	26.7	43.8	67.2	98.8	142.5	0.60
01 031 007	DR-C 38 x 60	60	70	20 ^{+0.3} _{-0.1}	60 ^{+0.3} _{-0.1}	38	13.0	30.4	50.6	78.0	113.0	162.0	0.60
01 031 008	DR-C 38 x 80	80	90	20 ^{+0.3} _{-0.1}	60 ^{+0.3} _{-0.1}	38	17.3	40.5	67.5	104.0	151.0	216.0	0.79
01 031 009	DR-C 38 x 120	120	130	20 ^{+0.3} _{-0.1}	60 ^{+0.3} _{-0.1}	38	26.0	60.8	101.2	156.0	226.0	324.0	1.16
01 031 013	DR-C 45 x 80	80	90	24 ^{+0.3} _{-0.1}	72 ^{+0.3} _{-0.1}	45	27.6	62.4	104.0	160.0	222.0	320.0	1.00
01 031 014	DR-C 45 x 100	100	110	24 ^{+0.3} _{-0.1}	72 ^{+0.3} _{-0.1}	45	34.5	78.0	130.0	200.0	278.0	400.0	1.22

Rubber Suspension Units



Bolted Lever Arm on Inner Square

Positioning of the lever arm by means of central shaft screw and resulting frictional connection. Ideal for continuous positioning of the lever arm.

This connection should not be applied at alternating oscillations by big angular motions ($> \pm 10^\circ$).

In order to get the most best frictional connection, the paint cover on the core front should be removed prior bolting any connection part.

Bijlage F: Gegevens van lagerringen met en zonder vertanding



Four point contact bearings

VSA201094-N (Series VSA20)

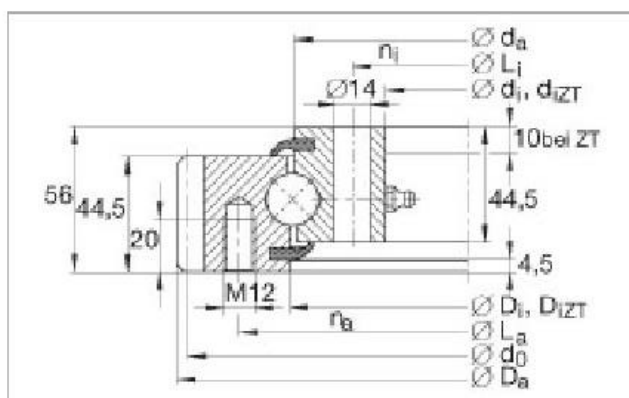
standard series 20, external gear teeth, lip seals on both sides

The datasheet is only an overview of dimensions and basic load ratings of the selected product. Please always observe all the guidelines in these overview pages. Further information is given on many products under the menu item "Description". You can also order comprehensive information via the Catalogue ordering system (<http://www.ina.de/content.ina.de/en/mediathek/library/library.jsp>) or by telephone on +49 (91 32) 82 - 28 97.

d _i	1022 mm	Tolerance: +0,7
D _a	1198,1 mm	
d ₀	1184 mm	
d _a	1092,5 mm	Tolerance: -0,7
D _i	1095,5 mm	Tolerance: +0,7
D _i	1097 mm	Valid for bearings with centring (suffix ZT)
ZT		Centring lengths (T, t) (see dimension drawing)
		Tolerance: +IT8
d _i	1024 mm	Valid for bearings with centring (suffix ZT)
ZT		Centring lengths (T, t) (see dimension drawing)
		Tolerance: +IT8
H	56 mm	
L _a	1135 mm	
L _i	1048 mm	
m	8 mm	Tooth modulus
n _a	44	Number of fixing holes in outer ring
n _i	48	Number of fixing holes in inner ring
z	148	Number of teeth
m	91 kg	Mass
F _r	181700 N	Maximum permissible radial load against friction lock
per		
F _z	28300 N	Maximum permissible tooth force (dedendum fatigue strength)
norm		
F _z	42000 N	Max. permissible tooth force against tooth fracture in dedendum
max		

C_a	244000 N	Basic dynamic load rating, axial
C_{0a}	1490000 N	Basic static load rating, axial
C_r	160000 N	Basic dynamic load rating, radial
C_{0r}	660000 N	Basic static load rating, radial

4 taper type lubrication nipples, DIN 714 12-A S8x1, spaced uniformly on circumference





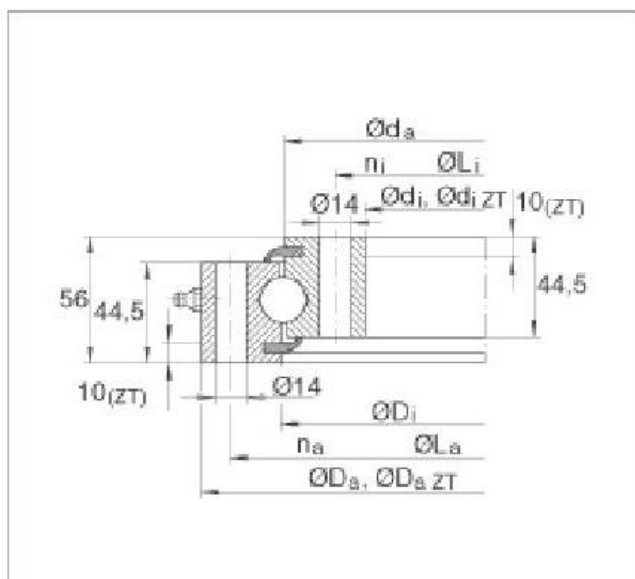
Four point contact bearings

VSU201094 (Series VSU20)

standard series 20, without gear teeth, lip seals on both sides

The datasheet is only an overview of dimensions and basic load ratings of the selected product. Please always observe all the guidelines in these overview pages. Further information is given on many products under the menu item "Description". You can also order comprehensive information via the Catalogue ordering system (<http://www.ina.de/content.ina.de/en/mediathek/library/library.jsp>) or by telephone on +49 (91 32) 82 - 28 97.

d _i	1022 mm	Tolerance: +0,7
D _a	1166 mm	Tolerance: -0,7
d _a	1092,5 mm	Tolerance: +0,7
D _a	1164 mm	Valid for bearings with centring (suffix ZT)
ZT		Centring lengths (see dimension drawing)
		Tolerance: -IT8
D _i	1095,5 mm	Tolerance: +0,7
d _i	1024 mm	Valid for bearings with centring (suffix ZT)
ZT		Centring lengths (T, t) (see dimension drawing)
		Tolerance: +IT8
H	56 mm	
L _a	1140 mm	
L _i	1048 mm	
n _a	48	Number of fixing holes in outer ring
n _i	48	Number of fixing holes in inner ring
m	77 kg	Mass
F _r	198200 N	Maximum permissible radial load against friction lock
per		
C _a	244000 N	Basic dynamic load rating, axial
C _{0a}	1490000 N	Basic static load rating, axial
C _r	160000 N	Basic dynamic load rating, radial
C _{0r}	660000 N	Basic static load rating, radial
4 taper type lubrication nipples, DIN 714 12-A S8x1, spaced uniformly on circumference		



Bijlage G: Gegevens motor 15 kW

Product information



AC gearmotor

R107DRE180M4



Rated motor speed	[1/min] : 1470
Output speed	[1/min] : 48
Overall gear ratio	: 30,77
Output torque	[Nm] : 3000
Service factor SEW-FB	: 1,45
input mounting position/IM	: M1
Position of connector/terminal box	[°] : 0
Cable entry/connector position	: X
Output shaft	[mm] : 70x140
Permitted output overhung load with n=1400	[N] : 22800
Lubricant quantity 1st gear unit	[Liter] : 6
Motor power	[kW] : 15
Duration factor	: S1-100%
Efficiency class	: IE2
Efficiency (50/75/100% P _n)	[%] : 90,9 / 91,5 / 91
CE mark	: Yes
Motor voltage	[V] : 400/690
Wiring diagram	: R13
Frequency	[Hz] : 50
Rated current	[A] : 28 / 16,2
Cos Phi	: 0,85
Thermal class	: 155(F)
Motor protection type	: IP55
Design requirement	: IEC
Net weight	[Kg] : 280

Additional feature and Options:

Enclosure IP 55 - standard motor

Thermal classification 155(F)

Bijlage H: Gegevens steunwielen zeeftrommel

Productdatablad



SVS 300/100K



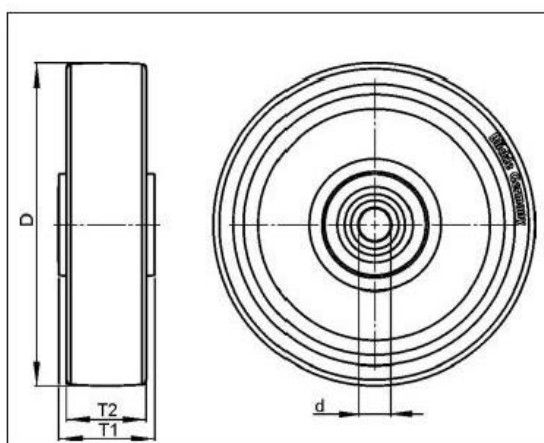
EAN: 4047526115869

ID: 755247

Massief stalen superzwaarlast wiel

Loopvlak / bandage: Gedraaid speciaal staal, met licht gebolleerd loopvlak en licht geolied oppervlak, zeer geringe rol- en zwenkweerstand, lichtlopend op gladde vloeren, zeer slijtvast, extreem hoog statisch en dynamisch draagvermogen. Loopvlakkleur: zilver

Velg: -



Technische specificaties

wiel-Ø (D)	300 mm
Wielbreedte (T2)	90 mm
Draagvermogen	15000 kg
Lagerzitting-Ø (S)	215 mm
Lagerzittingdiepte (t)	47 mm
Asgat-Ø (d)	100 mm
Naaflengte (T1)	100 mm
Inspanlengte (T5)	100 mm
Gewicht	0 kg
temperatuurbestendig van	-25 °C
temperatuurbestendig tot	120 °C
Hardheid	190 - 230 HB
Scoort lagering	

Rolweerstand



Rijgeluid



Vloerbesparend



Blickle Räder+Rollen GmbH u. Co. KG
Heinrich-Blickle-Straße 1 · 72348 Rosenfeld · Germany
Telefon: +49 7428 932-0 · Telefax: +49 7428 932-209
E-Mail: info@blickle.com · Internet: www.blickle.com

© Blickle Räder+Rollen GmbH u. Co. KG 2013
Rosenfeld · Germany

we innovate mobility

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

Ontwerpen van een scheidingsinstallatie voor <i>enhanced landfill mining</i>

Richting: **master in de industriële wetenschappen: elektromechanica**

Jaar: **2014**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Scevenels, Laurens

Roumans, Enzo

Datum: **6/06/2014**